

Juha-Pekka Aura

# ITÄMEREN MERILIIKENTEEEN PÄÄS- TÖJEN TILANNEKUVA 2020

Kohti hiilineutraaliutta 2035

Opinnäytetyö

Logistiikan koulutus

2020



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkintonimike	Aika
Juha-Pekka Aura	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2020
<b>Opinnäytetyön nimi</b>  Itämeren meriliikenteen päästöjen tilannekuva 2020 Kohti hiilineutraaliutta 2035		56 sivua
<b>Toimeksiantaja</b>  Logistiikan ja merenkulun TKI, XAMK		
<b>Ohjaaja</b>  Joel Paananen		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää Itämeren meriliikenteen aiheuttamien ilmapäästöjen tilannekuva sekä tarkastella keinoja, joiden avulla päästöjä kyetään vähentämään. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mistä Itämeren merenkulun aiheuttamat ilmapäästöt koostuvat, mitä ne aiheuttavat sekä, kuinka niiden määrää kyetään vähentämään. Tavoitteena on myös saada vastaus siihen, onko käytettävissä oleva keinovalikoima riittävä vastaamaan merenkulun kiristyvän ympäristösäätelyn mukaisiin tavoitteisiin. Kiristyvällä ympäristösäätelyllä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa Kansainvälisen merenkulkujärjestön (IMO), EU:n ja Suomen asettamia tavoitteita merenkulun päästöille vuosiin 2035 ja 2050 mennessä.</p> <p>Tämä opinnäytetyö on laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimus, jonka aineisto kerättiin julkisista kirjallisuuslähteistä ja aiemmin tehdyistä tutkimuksista. Kerätyn aineiston analyysissä on hyödynnetty sisällönanalyysia.</p> <p>Tämän opinnäytetyön perusteella on mahdollista muodostaa kokonaiskäsitys meriliikenteen ilmapäästöjen vaikutuksista Itämeren nykytilaan sekä siihen läheisesti liittyvään ilmastomuutokseen. Työ antaa myös soveltuvien osien käsityksen Itämeren meriliikennettä koskevasta ympäristösäätelystä ja sen kehityksestä sekä niistä keinoista, joiden avulla meriliikenteen aiheuttamien ilmapäästöjen odotetaan kääntyvän jyrkkään laskuun tulevina vuosina.</p> <p>Tutkimuksessa saadut tulokset osoittavat, että merenkulun päästöjä voidaan vähentää tehokkaasti useiden eri keinojen avulla. Suurin päästövähennyspotentiali on saavutettavissa käyttämällä biopohjaisia polttoaineita. Ilmastomuutoksen eteneminen sekä Itämeren heikko nykytila vaativat tulevaisuudessa mittavia panostuksia merenkulkusektorilta. Asetetut päästövähennystavoitteet ovat ympäristön kannalta välttämättömiä, mutta käytettävissä olevat keinot eivät ole riittäviä saavuttamaan asetettuja tavoitteita annetussa aikataulussa. Biopolttoaineiden saatavuus sekä muiden potentiaalisten vaihtoehtojen, kuten mm. polttoainekäytön, kehitys ei ole vielä kyllin pitkällä, jotta niiden potentiaali olisi kaupallisesti hyödynnettävissä merenkulun tarpeisiin.</p>		
<b>Asiasanat</b>  Itämeri, meriliikenteen kasvihuonekaasupäästöt, ilmastomuutos, vaihtoehtoiset polttoaineet		

Author (authors)	Degree	Time
Juha-Pekka Aura	Bachelor of Engineering	May 2020
<b>Thesis title</b>		56 pages
Snapshot of maritime emissions of the Baltic Sea 2020 Towards a carbon-neutral 2035		
<b>Commissioned by</b>		
Logistics and Maritime RDI, XAMK		
<b>Supervisor</b>		
Joel Paananen		
<b>Abstract</b>		
<p>The purpose of this thesis was to get a snapshot of air emissions caused by maritime traffic in the Baltic Sea and to study possible ways of reducing these emissions. The aim for the study was to find out where they originate from, what effects they had and how they were being reduced. In addition to this, also finding out if there were any resources or ways available for achieving the tightened environmental goals that had been set for emissions. Tightened environmental goals in this study were defined in accordance with the environmental goals set by the IMO, the EU and Finnish government for the period 2035-2050.</p> <p>This thesis is a qualitative study based on literature collected both from public resources and previous studies within the field. The research method used was content analysis for the collected resources.</p> <p>Based on this thesis it is possible to form an overall understanding about the consequences caused by the emissions released by maritime traffic in the Baltic Sea and their effects on climate change. This work also partly gives an understanding about the environmental regulations in maritime traffic at the Baltic Sea, how they have been developing and future ways of contributing to the reducing of emissions.</p> <p>The results of this study show that emissions from maritime traffic can be efficiently reduced by several different ways. The greatest potential for reducing emissions can be achieved by using bio-based fuels. The negative development of climate change and the already weak state of the Baltic Sea will require great efforts from the maritime sector. Already set emission reducing goals are necessary, but available resources will not be enough to reach these goals within the set timeframe. The availability of biofuels and other potential solutions such as fuel cell technology has not yet been developed enough to make them commercially sustainable for marine traffic.</p>		
<b>Keywords</b>		
Baltic Sea, maritime GHG-emissions, climate change, alternative fuels		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET .....	6
3	TEOREETTINEN VIITEKEHYS .....	7
4	TUTKIMUSMENETELMÄT .....	8
4.1	Aineistonkeruumenetelmä .....	8
4.2	Aineiston käsittely .....	9
5	ILMASTONMUUTOS .....	10
5.1	Kasvihuoneilmiö.....	10
5.2	Ilmastonmuutoksen seuraukset .....	11
5.3	Ilmastonmuutoksen torjunta.....	12
6	ITÄMERI .....	12
6.1	Meriliikenne ja kuljetukset Itämerellä .....	13
6.2	Itämeren satamat.....	15
6.3	Itämeren nykytila ja suojele .....	16
7	MERENKULUN AIHEUTTAMAT PÄÄSTÖT ITÄMERELLÄ .....	18
7.1	Päästöt ilmaan .....	19
7.2	Hiilidioksidi .....	20
7.3	Rikkipäästöt .....	21
7.4	Typpipäästöt .....	22
7.5	Pienhiukkaset .....	23
7.6	Musta hiili.....	24
8	MERENKULUN YMPÄRISTÖSÄÄTELY .....	26
8.1	Kansainvälinen merenkulkujärjestö (IMO) .....	26
8.2	Annex VI – ilmansuojeluliite .....	27
8.2.1	Typen oksidit.....	27
8.2.2	Rikin oksidit.....	28
8.2.3	Energiatehokkuusvaatimukset ja tiedonkeruu.....	29

8.3	IMO:n tavoitteet merenkulun päästövähennyksille.....	31
8.4	Euroopan unionin päästövähennystavoitteet .....	31
8.5	Marinin hallituksen hallitusohjelma .....	32
9	PÄÄSTÖJEN VÄHENNYSKEINOT .....	32
9.1	Vaihtoehtoiset polttoaineet .....	33
9.1.1	LNG .....	33
9.1.2	Biopolttoaineet .....	35
9.1.3	Polttokennot.....	36
9.1.4	Metanoli .....	37
9.2	Rikkipesurit .....	39
9.3	Tuulivoima .....	40
9.4	Muita keinoja vähentää alusten ilmapäästöjä .....	41
10	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	42
	LÄHTEET.....	47
	KUVALUETTELO	

## 1 JOHDANTO

Maapallolla on käynnissä ihmiskunnan toiminnan aiheuttama ilmastonmuutos, joka aiheutuu pääosin kasvihuonekaasujen (GHG) määrän kasvusta ilmakehässä. Kasvihuonekaasut koostuvat Ilmatieteenlaitoksen määritelmän (2020) mukaan pääosin hiilidioksidista ( $\text{CO}_2$ ), metaanista ( $\text{CH}_4$ ) ja typpioksiduulista ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Merenkulun aiheuttamia päästöjä tarkasteltaessa esiin nousevat vielä edellisten lisäksi rikkidioksidi ( $\text{SO}_2$ ) ja pienhiukkaspäästöt. Kaasujen seurauksena maapallon ilmakehän keskilämpötila nousee aiheuttaen globaalissa toimintaympäristössä monenlaisia muutoksia. (Ilmatieteenlaitos 2020.)

Opinnäytetyön tutkimusaiheena on Itämeren meriliikenteen aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen tilannekuvan selvittäminen sekä keinovalikoiman tarkastelu, jonka avulla meriliikenteen päästökuormitusta tullaan vähentämään asteittain Suomen hallitusohjelman, EU:n ja Kansainvälisen merenkulkujärjestön (International Maritime Organization, IMO) asettaman strategian mukaisesti vuosiin 2035 ja 2050 mennessä. Opinnäytetyössä taustoitetaan myös soveltuvien osien ilmastonmuutosta ilmiönä, sillä sen etenemisen aiheuttamat vaikutukset ovat suoraan verrannollisia merenkululle asetettuihin päästörajoituksiin. Aihe on todella ajankohtainen, sillä ilmastonmuutoksen seuraukset ovat jo nyt laajasti nähtävissä. Julkisessa keskustelussa merenkulun rooli ilmastotalkoissa on jäänyt hieman epäselväksi ja hataraan faktatietoon nojautavaksi.

Aihepiiri on minulle tärkeä, sillä olen kiinnostunut sekä merenkulusta että puhtaasta ympäristöstä ja Itämerestä. Logistiikan opiskelijan näkökulmasta merenkulku ja sen rooli maailmankaupassa ovat hyvinvointiyhteiskunnan kivijalka, ja siten muutoksen kourissa olevana teollisuuden alana mielenkiintoinen aihe opinnäytetyön tekemiselle.

## 2 TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET

Opinnäytetyön tarkoituksena on kerätä eri lähteistä ajankohtaista tietoa Itämeren meriliikenteen aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä sekä tarkastella yksityiskohtaisesti, mistä ne koostuvat ja minkälaisia ympäristövaikutuksia niillä on. Tarkoituksena on myös tutkia olemassa olevia realistisia keinoja,

joilla merenkulun päästöjä pyritään, ja ennen kaikkea kyetään, vähentämään. Kokonaisuuteen liittyvät myös olennaisesti IMO:n, EU:n ja Suomen hallitusohjelman asettamat päästötavoitteet, joiden viitekehyksessä tarkastellaan käytävissä olevan keinovalikoiman realistisuutta saavuttaa päästörajat annettuihin aikarajoihin mennessä.

Opinnäytetyön tavoitteena on muodostaa faktoihin perustuva tilannekuva Itämeren merenkulun aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä sekä keinoista, joiden avulla niitä kyetään vähentämään. Tavoitteena on myös saada vastaus siihen, ovatko asetetut päästötavoitteet saavutettavissa käytävissä olevan keinovalikoiman avulla. IMO:n, EU:n ja Suomen hallitusohjelmien tavoitteet ovat osittain ristiriidassa keskenään, ja siksi tutkimus on tarpeellinen selkeän kokonaiskuvan muodostamiseksi.

Opinnäytetyö vastaa seuraaviin kysymyksiin:

- Mitä Itämeren meriliikenteen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ovat?
- Miten Itämeren meriliikenteen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä kyetään vähentämään?

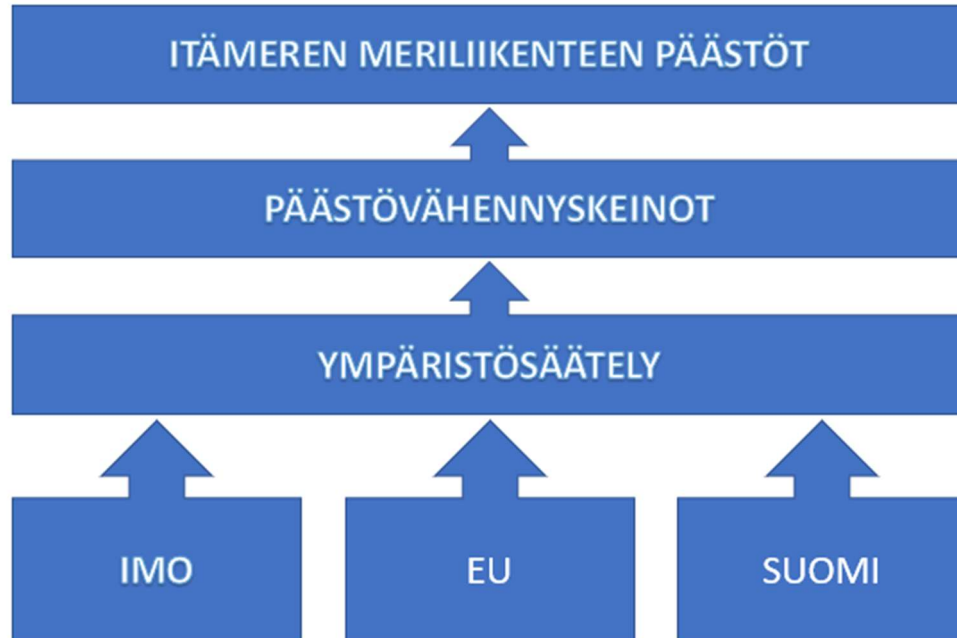
Alakysymyksiä ovat seuraavat:

- Ovatko asetetut päästötavoitteet saavutettavissa?
- Ovatko asetetut päästötavoitteet realistisia?

### **3 TEOREETTINEN VIITEKEHYS**

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Itämeren meriliikenteen aiheuttamia ilmapäästöjä, niihin liittyvää kansallista ja kansainvälistä säätelyä, sekä keinoja ja teknologisia ratkaisuja, joiden avulla päästöjä voidaan vähentää kiristyvän ympäristösäätelyn vaatimalle tasolle. Teoreettinen viitekehys muodostuu IMO:n, EU:n ja Suomen hallitusohjelman mukaisen säätelyn sekä merenkulun päästöjen nykytilasta ja tulevaisuuden näkymistä tehtyjen tutkimusten ja muiden julkisten kirjallisuuslähteiden muodostaman kokonaisuuden ympärille. Meriliikenteen päästövähennyskeinot ovat meriteknologian vastaus kiristyvään

ympäristösääteilyyn, ja siten olennainen osa tutkittavaa kokonaisuutta. Kuvassa 1 on esitetty teoreettinen viitekehys portaittain edeten säätelystä päästövähennyskeinojen kautta Itämeren meriliikenteen aiheuttamiin päästöihin.



Kuva 1. Teoreettinen viitekehys

## 4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä opinnäytetyö on laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimus, sillä se vastaa Hirsjärven ym. (2009, 165.) määritelmää, jonka mukaan kvalitatiivisen tutkimuksen lähtökohtana on todellisen elämän kuvaaminen. Tähän sisältyy ajatus, että todellisuus on moninainen, eikä sitä voi pirstoa mielivaltaisesti osiin. Tutkittavaan ilmiöön liittyvät tapahtumat muovaavat samanaikaisesti toisiaan, ja onkin mahdollista löytää monen suuntaisia suhteita. Laadullisessa tutkimuksessa pyritään tutkimaan kohdetta mahdollisimman kokonaisvaltaisesti. Vaikka kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimuksen rajapinta onkin paikoitellen hieman häilyvä, soveltuu näistä ensin mainittu parhaiten tuomaan selvyttä käsiteltyihin ongelmiin, sillä tarkoituksena on etsiä laadullista tietoa numeerisen sijaan. (Hirsjärvi ym. 2009.)

### 4.1 Aineistonkeruumenetelmä

Opinnäytetyön aineistona on käytetty pääosin jo olemassa olevaa aineistoa. Merenkulun päästöistä on tehty lukuisia tutkimuksia ja erilaisia tilastojulkaisuja



niin Itämeren kuin globaalin merenkulunkin osalta useiden eri tahojen toimesta. Lisäksi merenkulun aiheuttamia päästöjä ja erilaisia keinoja sekä teknologioita päästöjen vähentämiseksi on tutkittu mm. meriteollisuuden ja luokituslaitosten toimesta viime vuosina melko aktiivisesti. Aihetta on käsitelty aktiivisesti myös uutisoinneissa ja erilaisissa julkisissa keskusteluissa. Syynä materiaalin runsaudelle on globaalisti vallitseva poliittinen suuntaus, jonka päämääränä on pyrkiä saavuttamaan merenkulun aiheuttamille päästöille IMO:n, EU:n ja Suomen hallituksen asettamat kunnianhimoiset päästötavoitteet.

Aineiston keruu on perustunut Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun, kunnallisen kirjaston sekä Googlen hakupalveluiden avulla löydettyihin kirjallisuuslähteisiin sekä verkkodokumentteihin. Materiaalin hakua on ohjannut tiedonhaun avuksi tehty käsitekartta. Löydetyistä aineistosta on rajattu pois muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta yli viisi vuotta vanhat lähteet. Tätä vanhemmista lähteistä tutkimukseen mukaan pääsivät vain ne lähteet, joiden sisältämä tieto on edelleen relevanttia. Niiden käyttöä on harkittu tarkkaan, ja valinta on perustunut tapauskohtaisesti kyseisen lähteen sisältämän tiedon soveltuvuuteen tässä tutkimuksessa. Kaikkien tutkimukseen mukaan valikoitujen lähteiden käytettävyyttä on arvioitu tarkastelemalla kirjoittajan tai sen puuttuessa julkaisijayhteisön sidonnaisuuksia. Valinta on perustunut julkaisun iän lisäksi opinnäytetyön kirjoittajan näkemyksen mukaisesti objektiivisesti arvioituun poliittiseen ja taloudelliseen puolueettomuuteen. Näin toimimalla on varmistettu tutkimuksen luotettavuus ja puolueettomuus.

## **4.2 Aineiston käsittely**

Kun aineistoa on löydetty riittävä määrä ja päädytty tilanteeseen, jossa aineisto alkaa toistaa itseään, eikä tutkimusongelman kannalta enää saada uutta tietoa, on aineiston käsittelyssä seuraavaksi sovellettu laadullisen aineiston perusmenetelmää sisällönanalyysiä. Kyseinen menetelmä soveltuu erilaisen dokumenttien, kuten kirjojen, artikkeleiden, haastatteluiden, raporttien ja miltei minkä tahansa kirjalliseen muotoon saatetun materiaalin systemaattiseen ja objektiiviseen analysointiin. Menetelmän avulla on saatu muodostettua tiivistetty, selkeä ja yleismuotoinen kuvaus tutkittavasta aiheesta johtopäätösten tekoa varten. (Tuomi & Sarajärvi 2018, 75–95.)

Analyysin ensimmäisessä vaiheessa raakadata on pelkistetty siten, että aineistosta on karsittu kaikki tutkimuksen kannalta epäolennainen pois. Seuraavassa vaiheessa aineisto on ryhmitelty niin, että samaa ilmiötä kuvaavat käsitteet on yhdistelty luokiksi. Tässä vaiheessa aineisto on tiivistynyt, sillä yksittäiset tekijät on sisällytetty yleisimpiin käsitteisiin. Samalla on luotu pohja tutkimuksen perusrakenteelle. Analyysin viimeisessä vaiheessa aineisto on käsitteellistetty siten, että tutkimuksen kannalta olennainen tieto on erotettu, ja valikoidun tiedon perusteella on muodostettu teoreettisia käsitteitä. Koko prosessin ajan on tarkkailtu sitä, että aineistossa on säilynyt polku raakadataan. Aineistolähtöisen sisällönanalyysin avulla on saatu käsitteitä yhdistelemällä ja tulkitsemalla vastaus tutkimustehtävään. (Tuomi & Sarajärvi 2018, 75–95.)

## 5 ILMASTONMUUTOS

Ilmastonmuutos, ilmastokriisi, ilmastoahdistus, ilmastolakot, sekä ilmaston lämpeneminen ovat todennäköisesti jossain muodossa jokaiselle silmät tai vähintään korvat auki pitävälle ihmiselle tutuksi tulleita käsitteitä viimeisten lähi-vuosien ajalta. Keskustelua on todennäköisesti myös käyty aktiivisesti puolesta ja vastaan, esimerkiksi kauhu- tai uhkakuvia maalaillevista asetelmista työpaikkojen kahvi- ja tupakkapaikoilla, ”torikokouksissa”, sosiaalisessa mediassa, uutisoinneissa ja lähes kaikessa ihmisten välisessä vuorovaikutuksessa. Laitisen (2019) mukaan keskustelu sai alkunsa, kun hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) julkaisi lokakuussa 2018 raportin ilmastomuutoksen haittavaikutuksista (Laitinen 2019, 21). Merenkulun osalta keskustelu käynnistyi hieman aiemmin saman vuoden keväällä, kun YK:n alainen kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO julkaisi kunnianhimoisen GHG-strategian, jonka mukaan merenkulun kasvihuonekaasupäästöjä ruvetaan leikkaamaan radikaalisti. Tarkemmin meriliikenteen päästöjä koskevaa säätelyä tarkastellaan luvussa 8.

### 5.1 Kasvihuoneilmiö

Ilmastonmuutos johtuu kasvihuonekaasujen maapallon ilmakehässä aiheuttamasta voimistuneesta kasvihuoneilmiöstä. Maapallon ilmakehä toimii kuten kasvihuoneen lasinen katto – se päästää auringon säteilyn lävitseen, mutta estää lämpösäteilyä karkaamasta avaruuteen. Ilmakehän koostumus puolestaan vaikuttaa suoraan siihen, kuinka suuri tämä lämmitysvaikutus on. (CO<sub>2</sub>-

raportti s.a.; Ilmasto-opas s.a.a.) Mikäli kasvihuoneilmiötä ei olisi lainkaan, olisi maanpinnan keskimääräinen lämpötila nykyistä yli 30 celsiusastetta alhaisempi. Maapallo olisi tällöin aurinkokunnan maapalloa ulompien planeettojen tavoin elinkelvoton jää- tai kiviplaneetta. Luonnollinen kasvihuoneilmiö on siis elintärkeä osa planeettamme ilmastoa ja elinolosuhteiden ylläpitoa. (Laitinen 2019, 22–23.)

Tärkeimpiin kasvihuonekaasuihin lukeutuvat vesihöyry ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ja hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ) sekä näitä hieman vähäisemmät metaani ( $\text{CH}_4$ ), dityppioksidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ja otsoni ( $\text{O}_3$ ). Reilusti yli puolet kasvihuoneilmiöstä aiheutuu vesihöyrystä ja pilvistä. Ne luetaan kuitenkin osaksi luonnollista kasvihuoneilmiötä, sillä ne eivät kerry ilmakehään, vaan putoavat pisaroiksi tiivistyessään sateena takaisin maahan. (Laitinen 2019, 23.) Suurin yksittäinen kasvihuoneilmiötä aiheuttava kasvihuonekaasu on hiilidioksidi. Sen osuus on noin 80 % kaikista kasvihuonekaasuista. Noin 75 %  $\text{CO}_2$ -päästöistä aiheutuu fossiilisten polttoaineiden palamisesta. ( $\text{CO}_2$ -raportti s.a.) Hiilidioksidi ei vaihda maapallon olosuhteissa olomuotoaan, ja siitä syystä luonnolla ei ole nopeaa keinoa säädellä sen määrää ilmakehässä. Kun fossiilinen polttoaine palaa, jää siitä syntyvä hiilidioksidi maan ilmakehään, ja ajan kuluessa kertymä kasvaa kasvamistaan. (Laitinen 2019, 23.) Kasvihuonekaasujen määrä on tällä hetkellä jyrkässä kasvussa, minkä seurauksena maapallon ilmasto lämpenee ja muuttuu. (Ilmasto-opas s.a.a).

## 5.2 Ilmastonmuutoksen seuraukset

Kasvihuoneilmiö ja sen aiheuttama ilmastonmuutos eivät ole vain nykyajan ilmiö. Ruotsalainen Nobel-kemisti Svante Arrhenius varoitti ensimmäisenä ilmastonmuutoksesta jo vuonna 1895 (Valtaoja 2017, 58). Maapallon ilmasto on lämmennyt esiteollisesta ajasta jo yli asteen, ja sen arvioidaan toistaiseksi riittämättömien nykytoimien seurauksena nousevan yli kolmen asteen. Arvioiden mukaan jo 1,5 asteen ylitys merkitsee luonnolle katastrofaalisia seurauksia. Jo nyt nähtävissä olevia seurauksia ovat mm. arktisen alueen jääpeitteen sulaminen, tästä ja osittain lämpölaajenemisesta johtuva meriveden pinnan nousu, erilaisten kasvitautien ja tuholaishyönteisten lisääntyminen, sekä sään ääri-ilmiöiden, kuten rankkasateiden, kuivuuden ja myrskyjen yleistyminen.

(WWF s.a.a.) Yksi vakavimmista mahdollisista ilmastonmuutoksen seurauksista arvioidaan olevan köyhien maiden elinolosuhteiden heikentyminen entistään, ja tämä aiheuttaa massiivisen maahanmuuttopaineen vauraampiin maihin mm. Euroopassa (Laitinen 2019, 30).

### 5.3 Ilmastonmuutoksen torjunta

Ilmastonmuutos ei ole enää Ilmatieteen laitoksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Aalto-yliopiston ylläpitämän Ilmasto-oppaan mukaan täysin peruutettavissa, mutta kansainvälisen yhteisön yhdenmukaisilla toimilla sen etenemistä voidaan kuitenkin hidastaa. Ilmastonmuutoksen hillintätoimet perustuvat kasvihuonekaasujen määrän vähentämiseen kaikkialla maailmassa kaikilla päästöjä aiheuttavilla sektoreilla. (Ilmasto-opas s.a.b.) Yleisenä viitekehyksenä ilmastonmuutoksen torjunnalle toimii joulukuussa 2015 sovittu Pariisin ilmastosopimus, jonka tavoitteena on rajata maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle kahteen asteeseen suhteessa esiteolliseen aikaan ja toisaalta pyrkiä toimenpiteisiin, joiden avulla lämpeneminen saataisiin rajoitettua alle 1,5 asteeseen (Ympäristöministeriö 2018). Merenkulku jäi vielä tuolloin ilmastopöytäkirjan ulkopuolelle mutta vastasi päästövähennystavoitteisiin omalta osaltaan IMO:n kunnianhimoisella GHG-strategialla vuonna 2018 (Kokkonen 2018).

## 6 ITÄMERI

Itämeri on Pohjois-Euroopassa sijaitseva Atlantin valtamereseen kuuluva maailman toiseksi suurin murtovesiallas. Sen keskisyvyys on 54 metriä, ja syvin kohta Tukholman kaakkoispuolella sijaitseva Landsortin syväne 459 metriä. Itämeri on muihin meriin verrattuna poikkeuksellisen matala, sillä mm. Atlantin keskisyvyys on 3650 metriä, ja Välimerenkin 1500 metriä. Vesi ja ravinteet kulkeutuvat Itämereen sateiden ja jokien mukana maantieteellisesti laajalta alueelta, joka ulottuu Käsivarren Lapista Karpaateille ja Skandinavian tuntureilta Länsi-Venäjän ylängöille. Itämeren veden vaihtuminen tapahtuu hitaasti, noin 40–50 vuodessa, jolloin uusi suolainen vesi virtaa sinne Pohjanmereltä Tanskan salmien kautta. Itämeri on ominaisuudeltaan murtovesi, eli sen suolapitoisuus on murtoveden määritelmän mukaisesti vähäinen, keskimäärin 7,4 promillea. Tämä on vain noin 20 prosenttia valtamerien suolapitoisuudesta. Murtovedet ovat melko harvinaisia, ja niissä elämään sopeutuneita eliölajeja

on vähän. Biodiversiteetti on pieni, ja tästä syystä Itämeri on erityisen haavoittuva ja altis meriympäristön ja ilmaston muutoksille. (Myrberg & Leppäranta 24–30.)

Itämeri on pinta-alaltaan melko pieni ja lähes kokonaan sen yhdeksän rantavaltion maa-alueiden sulkema meri. Sen ulkorajana pidetään Tanskan salmia Tanskan pohjoiskärjen Skagenin ja Ruotsin lounaisrannikolla sijaitsevan Lysekilin välillä. Itämeren rantavaltioihin kuuluvat Tanska, Saksa, Puola, Liettua, Latvia, Viro, Venäjä, Suomi ja Ruotsi. (Ilmatieteen laitos s.a.a.; Helcom s.a.a.) Karttanäkymä kuvassa 2 havainnollistaa Itämeren alueen rajauksen, sekä sen rantavaltiot.



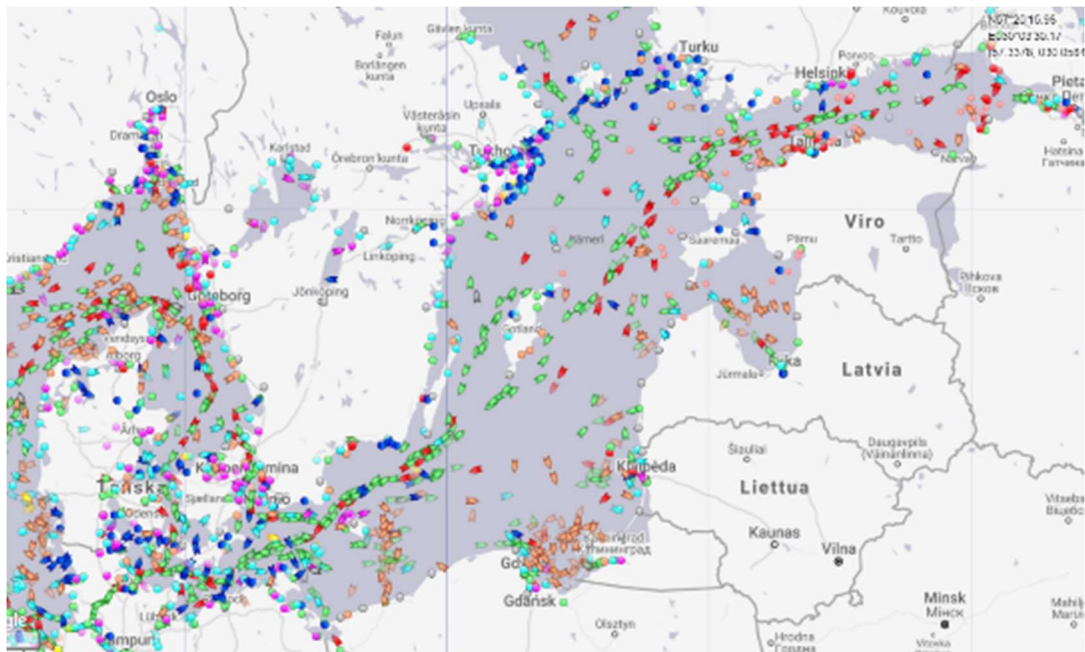
Kuva 2. Itämeri (Järviwiki 2020)

## 6.1 Meriliikenne ja kuljetukset Itämerellä

Itämeri on kansainvälisen ympäristöjärjestö WWF:n mukaan yksi maailman vilkkaimmin liikennöidyistä merialueista. Sen alueella liikennöi päivittäin keskimäärin noin 2000 suuren kokoluokan alusta, ja määrän ennustetaan olevan yhä kasvussa. (WWF s.a.b.) Matalien Tanskan salmien vuoksi Itämerelle pääsevät alukset, joiden syväys on maksimissaan noin 15 metriä. Myös tätä suu-

remmat alukset pääsevät kulkemaan salmien läpi joko tyhjinä, tai osittain lastattuina. (Tapaninen 2019, 17.) Korkeussuunnassa Tanskan salmien läpi kulkevaa vapaata meriliikennettä rajoittavat sen yli kulkevat kolme siltaa, vuosina 1935 ja 1997 valmistuneet Vähä-Belt ja Iso-Belt sekä vuonna 2000 valmistunut maailman pisin maantie- ja rautatiesilta Juutinrauma (7845 metriä). Toinen reitti Itämerelle kulkee vuonna 1895 avatun 98 kilometrin mittaisen Kielin kanavan kautta, joka etenee Jyllannin lävitse Pohjanmereltä Itämerelle. Kanavaa käyttää noin 100 alusta päivittäin. (Myrberg & Leppäranta 2019, 130–132.) Kanavan käyttöä rajoittaa kuitenkin sen 11 metrin syvyys, joka on suurille aluksille Tanskan salmiin verrattuna pieni (UCA 2019).

Reaaliaikaisesti maailman merillä tapahtuvaa liikennettä seuraavan verkkopalvelu MarineTrafficin sivulta maaliskuun 2020 alussa otettu kuvakaappaus (ks. kuva 3) havainnollistaa konkreettisesti Itämeren vilkkaan meriliikenteen.



Kuva 3. Itämeren meriliikenne maaliskuussa 2020 (MarineTraffic 2020)

Kaksi Itämeren alueen suurinta talousmahtia ovat Saksa ja Venäjä. Itämeren meriliikenteessä 37 % kaikesta kuljetetusta lastista muodostuu nestemäisestä irtolastista. Tätä selittää osin se, että suuri osa Venäjän öljyviennistä maailmalle tapahtuu Itämeren kautta. Kuvan 2 kartassa nestemäistä lastia kuljettavat alukset ovat merkittynä punaisella tunnusvärillä. Loput Itämeren meriliikenteen tavararyhmistä koostuvat pääosin lannoitteista ja hiilestä muodostuvasta

kuivasta irtolastista (31 %), ro-ro-lasteista (18 %), konteista (7 %) sekä Venäjän kontit ja ro-ro-lastit sisältävästä muusta lastista (7 %). Vastaavasti maittain liikenne jakautuu Venäjän (18 %), Suomen (16 %), Ruotsin (14 %), Tanskan (12 %) ja Puolan (12 %), Latvian (8 %), Liettuan (7 %), sekä Viron (5 %) välille. (Tapaninen 2019, 17–18.)

Itämeren alueen meriliikenne muodostuu sen alueen maiden välisestä kaupasta sekä yhteyksistä Keski-Eurooppaan, ja ne hoidetaan pääosin ns. lähimerikuljetuksina (short-sea shipping). EU:n ulkomaankaupasta kulkee yli 70 %, ja sisäisestä kaupasta n. 36 % meriteitse. Itämerellä liikennöi kaikenlaisia laivoja, mutta Tanskan salmien asettamien rajoitusten sekä Itämeren suhteellisten pienten volyymien vuoksi suurimman kokoluokan valtamerialukset Amerikoista tai Aasiasta eivät liikennöi Itämerellä lainkaan. Niiden lastit puretaan tyypillisesti Pohjanmeren suuriin satamiin, joista pienemmät ns. feederit syöttävät lastin Itämeren pienempiin satamiin. Itämeren runsas ja tehokkaasti toimiva ro-ro-liikenne pohjautuu alueen sisäisiin kuljetuksiin sekä matkustajaliikenteeseen. Monet Itämerellä operoivat varustamot ovatkin yhdistäneet ro-ro-lastit matkustajaliikenteeseen. Tällöin puhutaan ropax-liikenteestä, joka on tyypillistä Suomen, Ruotsin ja Viron sekä Tanskan, Ruotsin ja Saksan välillä. (Tapaninen 2019, 20–22.) Suuria liikennemääriä kuvastaa hyvin se, että Helsinki ja Tukholma ovat Itämeren, ja samalla koko EU:n kaksi vilkkainta matkustajasatamaa (Port of Helsinki 2020).

## 6.2 Itämeren satamat

Itämeren meriliikennettä käsiteltäessä on myös olennaista tarkastella pinta-puolisesti sen alueella toimivia suurimpia satamia. Satamat ovat maa- ja meriliikenteen yhdistäviä logistisen kuljetusketjun solmukohtia, joihin meriliikenteen kuljettamat tavaravirrat keskittyvät (Tapaninen 2018, 73). Kolme Itämeren alueen suurinta satamaa ovat Suomenlahden itäreunassa sijaitsevat öljyyn ja kivihiileen irtolastiin keskittynyt Ust-Luga, Venäjän öljyviennin pääsatama Primorsk, sekä Venäjän tuontiin ja vientiin keskittynyt Pietarin satama. Liettuaassa sijaitseva Klaipeda sekä Latviassa sijaitsevat Riika ja Ventspils ovat keskittyneet pääosin Venäjän Valko-Venäjän transitoliikenteeseen. Puolan pääsatamana toimiva Gdansk, Suomen suurin satama Sköldvik (Kilpilahti) sekä Suomen

suurimmat yleissatamat HaminaKotka ja Helsinki sijoittuvat myös Itämeren suurimpien satamien joukkoon. (Tapaninen 2019, 18.)

### **6.3 Itämeren nykytila ja suojele**

Itämerta on usein luonnehdittu kuvaamalla sen tilaa yhtenä maailman saastuneimmista meristä. Sen ominaispiirteet tekevät siitä erityisen herkän ihmisen toiminnan aiheuttamille vaikutuksille (Furman ym. 2014). Itämeren tilaan vaikuttavat suurimpana yksittäisenä kuormituksen lähteenä sen pinta-alaa neljä kertaa suuremmalta 14 valtion alueelle ulottuvalta valuma-alueelta jokien mukana kulkeutuvat ravinteet mm. teollisuudesta, maataloudesta, yhdyskunnista, sekä kalankasvatuksesta. Valuma-alueen vaikutuspiirissä asuu n. 85 miljoonaa ihmistä. (Helcom 2018; Kulmala 2019.) Itämeren suurin yksittäinen ongelma on ravinnekuormituksen aiheuttama rehevöityminen, joka näkyy mm. veden sameutena sekä vuosittain esiintyvinä laajoina sinileväkukintoina (Elo-nen 2019). Itämeren alueen vaikutuspiiriin kuuluvat sen rantavaltioiden lisäksi kuvassa 4 nähtävät valuma-alueella sijaitsevat osat Norjasta, Slovakiasta, Tšekistä, Ukrainasta ja Valko-Venäjältä. (Myrberg & Leppäranta 2019, 248.)





Kuva 4. Itämeren valuma-alue (Helcom 2019)

Itämeren tilaa parantavien suojelutoimien juuret ulottuvat 1960-luvulle, jolloin merentutkijat alkoivat tuoda esiin vähitellen ilmi tulleita meren tilan heikkene-  
misen merkkejä. Ongelmat herättivät vastakaikua kansalaisissa ja päätöksen-  
tekijöissä, minkä seurauksena Itämeren ympärysvaltiot solmivat vuonna 1974  
Helsingin sopimuksen. Yleissopimus velvoittaa sen jäseniä suojelemaan meri-  
luontoa, vähentämään kaikkien päästölähteiden aiheuttamaa kuormitusta  
sekä säilyttämään lajien monimuotoisuuden. (Myrberg & Leppäranta 2019,  
60–61.)

Sopimus astui voimaan vuonna 1980, ja silloin sopimuksen allekirjoittajavaltiot  
perustivat sen toteuttamista varten Itämeren suojelukomission, joka nimettiin  
Helsingin komissioksi (HELCOM). Komission tehtävänä on Meriliiton (2020)  
mukaan tarkkailla jatkuvasti sopimuksen täytäntöönpanoa ja antaa päätöksil-  
lään suosituksia sopijapuolten hallituksille sopimuksen soveltamisen yksityis-  
kohdista. Komission tehtäviin kuuluu myös Itämeren tilan seuranta sekä suosi-  
tusten antaminen merenkulun turvallisuudesta ja haitallisten aineiden torjun-  
nasta. Itämeren suojelusopimus uudistettiin vuonna 1992, ja se hyväksyttiin

vuonna 2000 osaksi kansallista lainsäädäntöä. Osapuolina uudistuksen jälkeen ovat koko Euroopan Unioni ja kaikki Itämeren rantavaltiot, ja näin sopimuksen avulla voidaan tehdä yhteistyötä ympäristön hyväksi EU:n ja Venäjän välillä. (Myrberg & Leppäranta 2019, 62.)

HELCOM:n vuonna 2007 hyväksytyn parhaillaan käynnissä olevan toimintaohjelman tavoitteena on saavuttaa Itämeren hyvä ekologinen tila vuoteen 2021 mennessä. (Myrberg & Leppäranta 2019, 249).

Itämeren merialueen ympäristön tilaa pyritään parantamaan myös hallitusten välisellä Itämeri-yhteistyöllä Itämeren valtioiden neuvoston (CBSS) sekä EU:n Itämeristrategian (EUSBSR) toimesta (Ulkoministeriö s.a.). EU:n meriensuojelua koskevien direktiivien edellyttämänä on mm. Suomessa laadittu merenhoitosuunnitelma, jonka tavoitteena on ollut saavuttaa Itämeren hyvä tila vuoteen 2020 mennessä. Tavoitetta ei saavutettu, ja siksi työ jatkuu edelleen. (Ympäristöministeriö 2020.) Myös IMO on luokitellut Itämeren erityisen herkäksi merialueeksi ja asettanut Itämeren meriliikenteelle erinäisiä päästörajoituksia. Näitä rajoituksia käsitellään luvussa 8.

## **7 MERENKULUN AIHEUTTAMAT PÄÄSTÖT ITÄMERELLÄ**

Kuten luvussa 6 todettiin, on Itämeri yksi maailman vilkkaimmin liikennöidyistä merialueista. Aluksiin asennettujen sijainti- ja tunnistetietoja automaattisesti lähettävän AIS-järjestelmien (Automatic Identification System) keräämän datan perusteella Itämerellä liikennöi joka hetki noin 1 500 IMO:n rekisteröimää alusta, jotka tekevät vuositason Itämeren satamiin noin 300 000 käyntiä. Yleisimpiä Itämerellä liikennöiviä alustyypppejä ovat yleisrahtialukset ja tankkerit, kun taas suurimman osan satamakäynneistä tekevät Itämerellä tiheästi liikennöivät matkustaja-alukset. (Helavuori 2019; Väylävirasto 2019.)

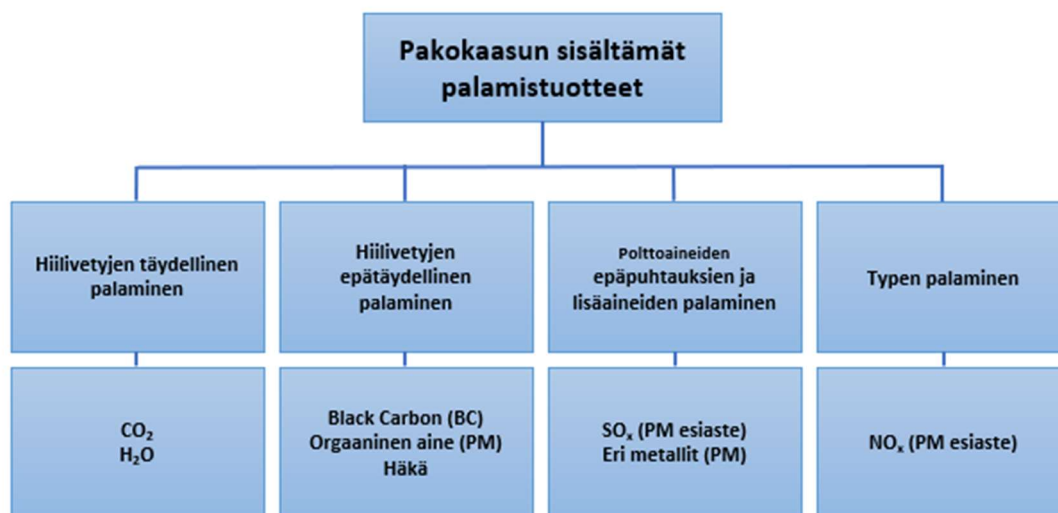
Vilkas meriliikenne merkitsee myös saman mittaluokan ympäristövaikutuksia. Merenkulun merkittävimpiin ympäristövaikutuksiin kuuluvat erilaiset onnettomuudet, joissa ympäristöön voi päätyä aluksen polttoainetta ja muita ympäristövaarallisia aineita sekä mahdollisesti lastina olevia kemikaaleja, kuten esimerkiksi raakaöljyä (Tapaninen 2019, 105). Onnettomuuksien sijaan merilii-

kenteen päästöjä tarkasteltaessa useimmiten kuitenkin nousevat esiin fossiilisten polttoaineiden palamisesta aiheutuvat hiilidioksidi- ( $\text{CO}_2$ ), typpioksidi- ( $\text{NO}_x$ ), rikkidioksidi- ( $\text{SO}_x$ ), pienhiukkas- (PM, particular matter), sekä mustan hiilen (BC, black carbon) päästöt. (Suomen varustamot s.a.a.). IMO:n GHG-tutkimuksen mukaan merikuljetukset aiheuttavat vuositasolla globaalisti noin 940 miljoonan tonnin  $\text{CO}_2$ -päästöt, joka on noin 2,5 % kaikista globaaleista kasvihuonekaasupäästöistä (IMO 2014). EU-tasolla meriliikenteen osuus koko liikennesektorin kasvihuonekaasupäästöistä on noin 13 %. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2019a.) Luvut eivät ole suhteellisesti kovin suuria, mutta ongelma muodostuu siitä, että IMO ennakoi tutkimuksessaan (IMO 2014) meriliikenteen päästöjen kasvavan ilman aktiivisia päästövähennystoimia 50–250 % vuoteen 2050 mennessä. Ajurina meriliikenteen suurelle kasvulle ja volyymille toimii maailman kauppa, josta yli 90 % kulkee meriteitse (Ilmatieteen laitos s.a.b.).

Meriliikenteen aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin kuuluvat myös laivoilla syntyvät kiinteät jätteet, erilaiset päästöt veteen, melu, sekä riskit erilaisten eliöiden leviämisestä painolastivesien mukana Itämereen (Tapaninen 2019, 105–112). Tässä opinnäytetyössä keskitytään laivojen aiheuttamista päästöistä ainoastaan kasvihuonekaasuja sisältäviin pakokaasu- ja ilmapäästöihin.

## 7.1 Päästöt ilmaan

Meriliikenteen aiheuttamat pakokaasupäästöt ovat Itämeren alueella merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen lähde (Helcom s.a.b.). Laiva tarvitsee toimiakseen polttoainetta, joka palamisprosessin seurauksena tuottaa energiaa ja vapauttaa samalla ilmakehään kasvihuoneilmiötä voimistavia pakokaasupäästöjä. Kuvassa 5 on esitetty laivojen pakokaasupäästöjen sisältämät päästölajit perinteisiä laivapolttoaineita käytettäessä.



Kuva 5. Pakokaasun sisältämät päästölajit (DNV GL 2016)

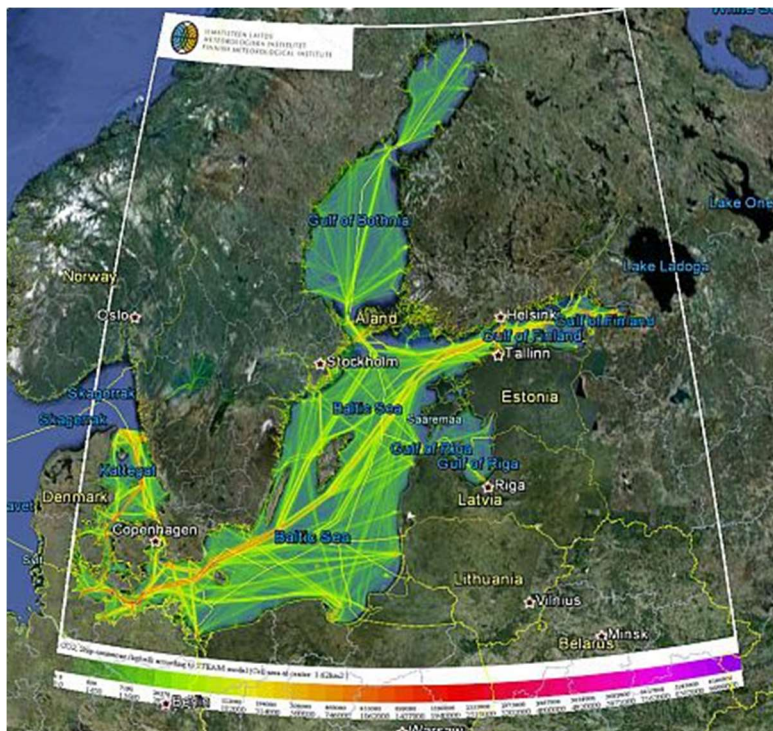
Ympäristövaikutusten lisäksi laivojen polttoaineista johtuvilla päästöillä on myös hyvin merkittäviä terveysvaikutuksia. Ilmatieteenlaitoksen tiedotteen (2018) mukaan globaalisti tiheästi asutuilla vilkkaasti liikennöityjen laivareittien alueella mm. Kiinassa, Singaporessa, Brasiliassa sekä Aasian, Afrikan ja Etelä-Amerikan rannikoilla yli 14 miljoonaa lapsuusiän astmadiagnoosia sekä vuosittain 400 000 ennenaikaista pääosin keuhkosairauksista ja sydän- ja verisuonitaudeista johtuvaa kuolemaa arvioidaan aiheutuvan merenkulun päästöistä (Ilmatieteen laitos 2018). Luvut eivät erilaisten päästörajoitusten takia ole suoraan siirrettävissä Itämeren alueelle, mutta niistä voidaan kuitenkin päätellä meriliikenteen päästöjen tuovan negatiivisia terveysvaikutuksia myös Itämeren alueen ihmisille.

## 7.2 Hiilidioksidi

HELCOMin julkaiseman raportin (2019, 1) mukaan IMO:n rekisteröimät alukset aiheuttivat vuonna 2018 Itämeren meriliikenteessä 14 miljoonan tonnin CO<sub>2</sub>-päästöt. Määrä vastaa 4,7 miljoonan tonnin fossiilisten polttoaineiden kulutusta (HELCOM 2019, 1). Itämerellä on voimassa EU:n merenkulun CO<sub>2</sub>-päästöjä koskeva MRV-asetus (monitoring, reporting and verification), joka velvoittaa kaikki alueen satamissa käyvät suuret alukset keräämään tietoja ja raportoimaan hiilidioksidipäästöistään (Valtioneuvosto 2019a). Tiedot ovat olleet julkisia vuoden 2019 heinäkuusta alkaen, ja tämän seurauksena mediassa onkin nähty useita merenkulun päästöjä kauhistelemaan sävyyn käsitteleviä uutisia (Suomen varustamot 2019). Vaikka päästöjen määrä on tonneissa

mitattuna huomattava, ovat merikuljetukset silti ympäristöystävällisin (ja edullisin) kuljetusmuoto rahdille. Vertailun vuoksi muiden kuljetusmuotojen CO<sub>2</sub>-päästöt (g/tkm) ovat lentorahdin osalta 435 g, rekan 80 g, rahtilaivan 7,9 g ja suuren konttialuksen 3 g. (Aunola 2019.) Hiilidioksidin aiheuttamia ympäristövaikutuksia käsiteltiin aiemmin luvussa 5.

Hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen ei ole laivojen osalta olemassa teknologisia ratkaisuja. Niitä kyetään vähentämään tällä hetkellä ainoastaan pienentämällä kulutusta, lisäämällä polttoainetehokkuutta sekä laskemalla laivojen kulkunopeutta. (Tapaninen 2019, 107.) Lisäksi päästöjä rahtitonnia kohden voidaan vähentää kasvattamalla lastikapasiteettia pidentämällä aluksia (Finnlines 2018). Tarkemmin meriliikenteen aiheuttamien CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämiskeinoja käsitellään luvuissa 7 ja 9. Kuvassa 6 esitetään Ilmatieteenlaitoksen AIS-datan perusteella laatima mallinnus Itämeren meriliikenteen aiheuttamista CO<sub>2</sub>-päästöistä vuodelta 2011. Kuvasta erottuvat keltaisen ja oranssin sävyinä myös Itämeren vilkkaimmat laivareitit.



Kuva 6. Meriliikenteen CO<sub>2</sub>-päästöt vuonna 2011 (Ilmatieteen laitos 2019)

### 7.3 Rikkipäästöt

Kaikki meriliikenteessä käytettävät fossiiliset polttoaineet sisältävät rikkiä. Laivojen pakokaasupäästöjen sisältämä rikkidioksidi (SO<sub>x</sub>) heikentää ilmanlaatua

ja on erityisen haitallista ihmisten terveydelle. Merenkulussa on käytetty polttoaineena perinteisesti öljyteollisuuden heikkolaatuisia sivutuotteita ja jätteitä, mikä on tehnyt siitä rikkipäästöjen osalta kaikkein ongelmallisimman kuljetusmuodon. Laivojen käyttämän polttoaineen suurta rikkipitoisuutta kuvastaa hyvin vertailu Suomen tieliikenteen käyttämään polttoaineeseen, jonka rikkipitoisuus on noin 0,0001 prosenttia (Tapaninen 2019, 108–109.) Globaali meriliikenne on ollut näihin päiviin saakka yksi maailman suurimmista rikkipäästöjen aiheuttajista (Muilu 2019). Rikkipäästöjä on vähennetty huippuvuosien jälkeen aktiivisesti mm. IMO:n kansainvälisten määräysten avulla. Itämeri on vuodesta 2015 alkaen kuulunut ns. SECA-alueeseen (Sulphur Emission Control Area), jolla polttoaineen enimmäisrikkipitoisuus on rajoitettu 0,1 prosenttiin. Globaalisti merenkulun polttoaineen enimmäisrikkipitoisuus tippui kuluvan vuoden tammikuussa 3,5 prosentista 0,5 prosenttiin (Suomen varustamot s.a.b).

Laivojen käyttämän polttoaineen sisältämä rikki voidaan poistaa ennen sen käyttöä jalostamalla tai käyttämällä nk. rikkipesureita, jotka liuottavat pakokaasun sisältämän rikin veteen (Tapaninen 2019, 109; Muilu 2019). Laivaliikenteen aiheuttamia rikkipäästöjä voidaan vähentää tehokkaasti myös mm. käyttämällä vaihtoehtoisia polttoaineita, kuten nesteytettyä maakaasua LNG:tä tai biopohjaisia polttoaineita (Tapaninen 2019, 109). Itämeren alueen merenkulun rikkipäästöt kääntyivät IMO:n rikkirajoituksen seurauksena vuoden 2015 jälkeen huimaan laskuun, ja ne ovat pudonneet Suomen Varustamoiden (ry) mukaan (2019) lähes nollaan (Suomen Varustamot 2019b).

Vaikka rikkipäästöt ovatkin pudonneet muutamassa vuodessa jopa 90 prosenttia, aiheutti meriliikenne Itämerellä Helcomin raportin (2019, 3) mukaan silti vielä vuonna 2018 9000 tonnin rikkipäästöt (Helcom 2019, 3; Mikkonen 2019). Päästöt aiheuttavat ihmisten terveyshaittojen lisäksi Itämeren happamoitumista, ja tämän seurauksena vesistössä elävät lajit voivat pahimmassa tapauksessa kadota kokonaan (Suomen ympäristökeskus 2014). Rikkipäästöjen vähentämiskeinoja tarkastellaan opinnäytetyön luvussa 9.

#### **7.4 Typpipäästöt**

Kolmas merkittävä meriliikenteen aiheuttama pakokaasupäästölaaji ovat typen oksidit ( $\text{NO}_x$ ). Maapallon ilmakehästä lähes 80 % on typpeä. Laivan moottori

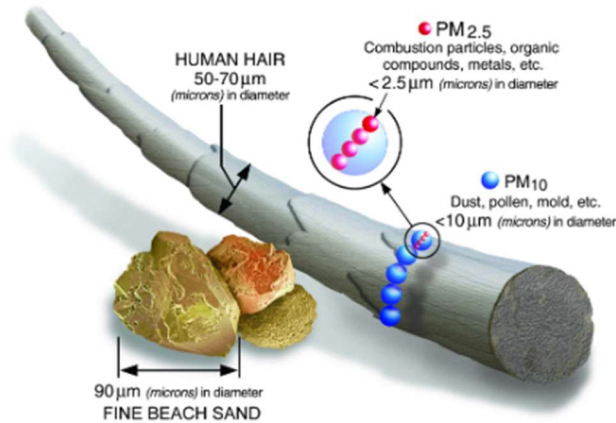
tarvitsee energiantuotannossaan ilmaa, jonka sisältämä typpi muodostaa energiantuotannon sivutuotteena yhdessä ilman niin ikään sisältämän hapen kanssa haitallisia typen oksideja. (Tapaninen 2019, 109; Mishra 2019.) Typpipäästöt pahentavat Itämeren rehevöitymistä, heikentävät rannikkoalueiden ilmanlaatua, muodostavat alailmakehään haitallista otsonia sekä aiheuttavat ihmisille suoria terveyshaittoja (Tapaninen 2019, 109). Valtaosa Itämeren typpi-kuormasta kulkeutuu vesistöön jokien mukana maataloudesta ja yhdyskunnista, mutta myös meriliikenteen aiheuttama typpilaskeuma on Itämeren merkittävä kuormittaja (Suomen ympäristökeskus 2015). Meriliikenne aiheutti Itämeren alueella vuonna 2018 yli 300 000 tonnin NO<sub>x</sub>-päästöt, joka on määränä varsin huomattava. Osuus on noin 10 % Itämeren kokonaistyppikuormituksesta. (Helcom 2019, 3; Liikenne- ja viestintäministeriö 2016.)

Laivojen moottoreissa muodostuvan typen määrää kyetään vähentämään parhaiten moottoritekniikkaa kehittämällä ja käyttämällä katalysaattoreita tai siirtymällä vaihtoehtoihin polttoaineisiin, kuten LNG:hen (Tapaninen 2019, 109). Itämeri kuuluu vuodesta 2021 alkaen ns. NECA-alueeseen (Nitrogen Emission Control Area), ja tästä syystä vuonna 2021 ja sen jälkeen rakennettaviin aluksiin tulee asentaa katalysaattori tai niiden on käytettävä polttoaineena LNG:tä. IMO:n sopimuksen tavoitteena on vähentää Itämeren NO<sub>x</sub>-päästöjä 80 prosentilla nykytasoon nähden. (Länkinen 2016.)

## 7.5 Pienhiukkaset

Pienhiukkasilla tarkoitetaan laivojen pakokaasupäästöjen sisältämiä halkaisijaltaan alle 2,5 µm:n kokoisia pieniä hiukkasia (Particulate matters, PM<sub>2,5</sub>). Ne voivat sisältää hiiltä, metalleja, tuhkaa, nokea ja erilaisia happoja, kuten sulfaatteja ja nitraatteja. Pienhiukkaset syntyvät laivan moottorin palamisprosessissa, jossa polttoaineen sisältämät epäpuhtaudet ja mm. moottorin sylinterin voiteluaineet siirtyvät pakokaasuina taivaalle. Pienhiukkaspäästöt ovat pääsääntöisesti peräisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Muita lähteitä ovat mm. energiantuotanto, puunpoltto, metsäpalot sekä tulivuorenpurkaukset. (Green Ship s.a.) Meriliikenne aiheutti vuonna 2018 Itämerellä 9000 tonnin PM<sub>2,5</sub>-päästöt ja määrä on ollut koko 2010-luvun ajan pienessä kasvussa (Helcom 2019, 3). Suoria pienhiukkaspäästöjä ei ole merenkulussa tois-  
taiseksi rajoitettu lainkaan, mutta alusten rikki- ja typpipäästöjen vähentämisen

uskotaan vähentävän myös pienhiukkasten määrää (Suomen Varustamot s.a.c). Kuvassa 7 on verrattu pienhiukkasten kokoa ihmisen hiukseen, jotta mittaluokka olisi helpommin ymmärrettävissä.

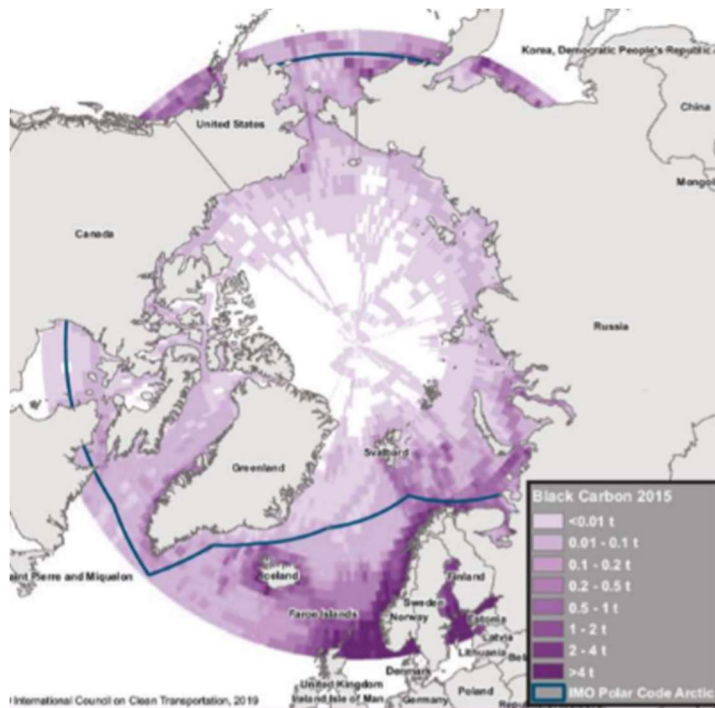


Kuva 7. Pienhiukkasen suhteellinen koko (CCAC s.a.)

## 7.6 Musta hiili

Mustalla hiilellä (Black Carbon) tarkoitetaan pienikokoisia hiukkasia, jotka syntyvät laivan moottorin käyttämän polttoaineen, pääasiassa dieselin, epätäydellisen palamisen seurauksena. Musta hiili on osa edellisessä luvussa käsiteltyä pienhiukasta  $PM_{2.5}$ . Pakokaasun sisältämät mustan hiilen hiukkaset ovat kooltaan noin 100 kertaa ihmisen hiusta pienempiä, josta syystä ne voivat kulkeutua hengityksen mukana syvälle keuhkoihin aiheuttaen mm. sydän- ja keuhkosairauksia. Ihmisille aiheutuvien terveysvaikutusten lisäksi mustan hiilen päästöillä on myös hyvin suuria ympäristövaikutuksia. Musta hiili on hiilidioksidin jälkeen toiseksi suurin ilmastonmuutosta (ilmaston lämpenemistä aiheuttava?) kiihdyttävä tekijä. (Comer 2019.) Hiukkaset imevät maan ilmakehässä auringon säteilyä itseensä lämmittäen siten ympäröivää ilmaa sekä nokeavat maahan laskeutuessaan lumi- ja jääpintoja aiheuttaen niiden sulamista. Ongelma on suuri erityisesti arktisella alueella, jonka lumi- ja jääpeite heijastaa osan auringonvalon aiheuttamasta lämmitysvaikutuksesta takaisin avaruuteen. (Suomen Varustamot s.a.d.) Meriliikenteen aiheuttamien mustan hiilen päästöjen intensiivisyys tonneina Itämerellä ja arktisella alueella vuonna 2015 on nähtävissä kuvassa 8.





Kuva 8. Meriliikenteen aiheuttamat mustan hiilen päästöt vuonna 2015 (ICCT 2019)

IMO on vuodesta 2011 alkaen työstänyt toimia, joiden avulla meriliikenteen mustan hiilen päästöjä kyettäisiin vähentämään. Termin määrittelyn (2015) ja päästöjen mittaustavan sopimisen (2018) jälkeen tunnistettiin päästöjen vähentämiseen soveltuvia keinoja, joita ovat mm. puhtaampien polttoaineiden ja tieliikenteessä käytettävien hiukkassuodattimien asentaminen, siirtyminen vaihtoehtoisten polttoaineiden, kuten LNG:n, käyttöön sekä alusten energiatehokkuuden parantaminen. Mustan hiilen päästöjä ei sisällytetty vuonna 2018 IMO:n GHG-strategiaan, sillä suurten öljyntuottajamaiden mukaan mustaa hiiltä ei voida luokitella kaasuksi. (Comer 2019.)

IPCC toteaa kuitenkin vuoden 2018 raportissaan, että maapallon ilmaston lämpenemisen rajoittaminen 1,5 asteeseen vaatii myös mustan hiilen päästöjen leikkaamista vähintään 35 % vuoteen 2050 mennessä (IPCC 2018). Mustan hiilen päästömäärien mittaamiseen ei vielä toistaiseksi ole kuitenkaan olemassa standardisoitua menetelmää, eikä päästöjen määriä ole suoraanaisesti säännelty kansallisella tai kansainväliselläkään tasolla. (Ryynänen 2019; ICCT s.a.)

## 8 MERENKULUN YMPÄRISTÖSÄÄTELY

Tässä luvussa tarkastellaan Itämeren merenkulun ilmapäästöihin liittyvää sääteilyä. Merenkulku on luonteeltaan kansainvälinen teollisuudenala, josta syystä myös siihen kohdistuva sääteily on kansainvälistä. Merenkulkua koskeva kansainvälinen sääteily luo pohjan kansalliselle sääntelylle, joka takaa globaalilla tasolla merenkulun toimintaympäristölle yhteneväiset säädökset. (Suomen Varustamot s.a.e.)

### 8.1 Kansainvälinen merenkulkujärjestö (IMO)

IMO (International Maritime Organization) on YK:n alainen 2. maailmansodan jälkimainingeissa vuonna 1948 perustettu kansainvälinen merenkulkujärjestö, jonka pääkonttori sijaitsee Lontoossa. Siihen kuuluu tällä hetkellä 174 valtiota. Järjestön päätavoitteena on edistää merenkulun turvallisuutta ja ehkäistä sen aiheuttamia ympäristövahinkoja. (IMO s.a.a.)

Kulmakiven merenkulun ympäristönsuojelua koskevalle lainsäädännölle muodostaa IMO:n MARPOL 73/78-yleissopimus ja sen sisältämät kuusi liitettä. MARPOL-yleissopimus (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) solmittiin ensimmäisen kerran marraskuussa 1973 ja päivitettiin vuosina 1976–1977 lisääntyneiden öljytankkerionnettomuuksien vuoksi vuonna 1978. Sopimus astui voimaan marraskuussa 1983, jonka jälkeen sitä on päivitetty useaan otteeseen eri liitteillä ja lisäyksillä. Alusten ilmapäästöjä käsittelevä pöytäkirja hyväksyttiin vuonna 1997, ja ilmansuojelua koskeva liite (Annex VI) astui voimaan toukokuussa 2005. (IMO s.a.b.; Suomen Varustamot s.a.f.) MARPOL 73/78-yleissopimuksen sisältämät liitteet ja voimaantulopäivämäärät ovat:

- **Annex I** Öljy ja öljytuotteet (2.10.1983)
- **Annex II** Irtolastina kuljetettavat vaaralliset nestemäiset aineet (2.10.1983)
- **Annex III** Meriympäristölle vaaralliset pakatut aineet (1.7.1992)
- **Annex IV** Alusten käymäläjätevedet (27.9.2003)
- **Annex V** Kiinteät jätteet (31.12.1988)
- **Annex VI** Ilmansuojelu (19.5.2005)

(IMO s.a.b.; Suomen Varustamot s.a.f.)

Seuraavassa luvussa tarkastellaan liitteen VI sisältöä hieman syvällisemmin.

## 8.2 Annex VI – ilmansuojeluliite

MARPOL 73/78:n sisältämä ilmansuojelua koskeva liite Annex VI koostuu viidestä luvusta ja niiden sisältämistä 25 määräyksestä, joihin kuuluvat mm. tässä opinnäytetyössä tarkasteltavat typen oksidien ( $\text{NO}_x$ ), rikin oksidien ( $\text{SO}_x$ ) sekä pienhiukkasten (PM) päästöjen vähentämistä koskevat määräykset (Kantharia 2019; IMO s.a.c). Liite VI sisältää myös merenkulun hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen kehitetyn uusien laivojen tehokkuusarvot määrittävän suunnittelutyökalu EEDI:n (Energy Efficiency Design Index) sekä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen kehitetyn energiatehokkuussuunnitelman SEEMP:n (Ship Energy Efficiency Management Plan) (Tapaninen 2019, 107–108).

### 8.2.1 Typen oksidit

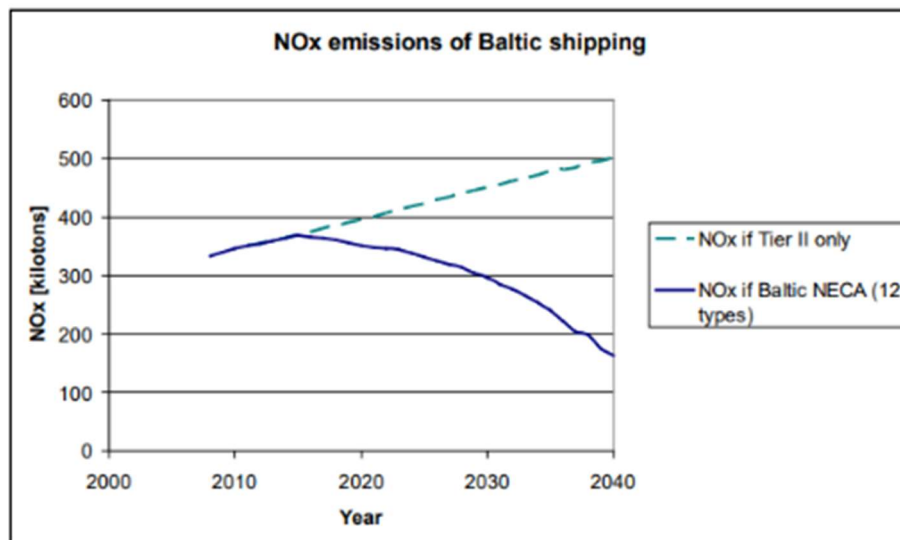
IMO:n Ilmansuojeluliitteen mukaiset  $\text{NO}_x$  -päästöjen rajoitukset hyväksyttiin vuonna 2008 ja ne tulivat voimaan uudistettuina heinäkuussa 2010. Alusten aiheuttamien typenoksidipäästöjen rajoittaminen tapahtuu kolmessa vaiheessa, jotka on nimetty eri vaatimustasojen mukaisesti nimillä *Tier I*, *Tier II* ja *Tier III*. (Suomen Varustamot s.a.g.)

*Tier I* -tason määräykset koskevat teholtaan yli 130 kW:n dieselmoottoreita, jotka on asennettu 1.1.2000 – 31.12.2011 välisenä aikana rakennettuihin aluksiin. Myös tätä vanhempiin 1.1.1990 – 31.12.1999 välisenä aikana rakennettuihin aluksiin, joihin on asennettu yli 5000 kW:n sylinteritulavuudeltaan vähintään 90 litrainen dieselmoottori, tulee täyttää  $\text{NO}_x$ -päästöjen osalta *Tier I* -vaatimukset. (Intovuori & Kämäräinen 2020.) Taso määriteltiin alun perin jo vuonna 1997 ja se otettiin käyttöön vuonna 2005 (Suomen Varustamot s.a.g.).

*Tier II* -tason määräysten mukaisesti  $\text{NO}_x$ -päästöjen määrän tulee vähentyä moottorin kierrosluvusta riippuen *Tier I* -tasoon nähden noin 20 %. Tason vaatimukset koskevat kaikkia 1.1.2011 tai sen jälkeen aluksiin asennettuja uusia teholtaan yli 130 kW:n dieselmoottoreita. (Suomen Varustamot s.a.g.; Intovuori & Kämäräinen 2020.)

*Tier III* -tason määräykset edellyttävät alusten, joiden dieselmoottoreiden teho on yli 130 kW, NO<sub>x</sub>-päästöjen vähentämistä Tier I -säännöksiin verrattuna 80 %. Määräykset koskevat Itämeren ja Pohjameren NECA-alueella purjehtivia uusia 1.1.2021 tai sen jälkeen rakennettuja aluksia. Pohjois-Amerikan tai USA:n Karibian meren NECA-alueella purjehtivien alusten NO<sub>x</sub>-päästörajoitus on hieman tiukempi ja koskee 1.1.2016 jälkeen rakennettuja aluksia. Tier III -päästöraja astuu voimaan 1.1.2021. (Suomen Varustamot s.a.g.; Intovuori & Kämäräinen 2020.)

Kuvassa 9 on nähtävissä Intovuoren ja Kämäräisen (2020) arvioima Tier II - ja Tier III -tasojen vaikutus Itämeren meriliikenteen aiheuttamien NO<sub>x</sub>-päästöjen kehitykseen vuoteen 2040 mennessä. (Intovuori & Kämäräinen 2020.)

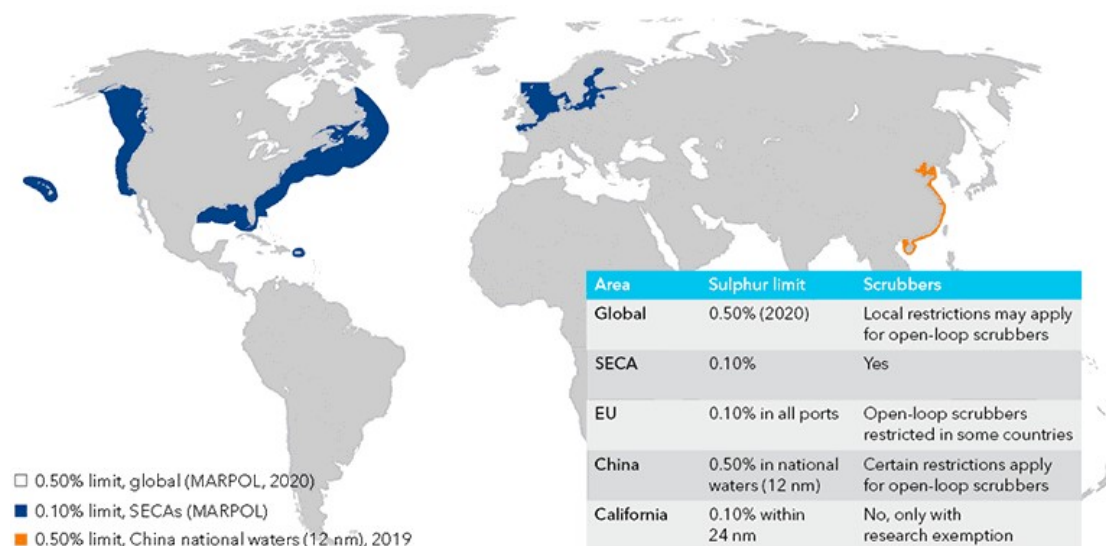


Kuva 9. Itämeren meriliikenteen NO<sub>x</sub>-päästöjen kehitys vuosien 00–40 välillä (Intovuori & Kämäräinen 2020)

### 8.2.2 Rikin oksidit

IMO:n MARPOL-yleissopimuksen ilmansuojeluliitteen mukaiset SO<sub>x</sub>-päästöjen rajoitukset hyväksyttiin typenoksidipäästörajoitusten tapaan vuonna 2008 ja ne tulivat globaalisti voimaan heinäkuussa 2010. Itämeren, Pohjanmeren sekä Englannin kanaalin muodostamalla SECA-alueella rajoitukset ovat kansainvälistä merenkulkua tiukemmat, ja polttoaineen enimmäisrikkipitoisuus rajoitettiin sopimuksen tultua voimaan vuonna 2010 1,5 prosentista 1,0 prosenttiin. Viisi vuotta myöhemmin (2015) raja putosi 0,1 prosenttiin, jossa se on edelleen. Globaalilla tasolla merenkulun käyttämän polttoaineen enimmäisrikkipitoisuus

putosi tämän vuoden tammikuussa 3,5 prosentista 0,5 prosenttiin. (Suomen Varustamot s.a.h.) Kuvassa 10 on nähtävissä karttapohjalle väreillä merkityt SECA-alueet. Itämeri sijaitsee hieman kuvan keskikohdan yläpuolella.



Kuva 10. Rikkirajoitetut SECA-alueet (DNV GL 2019)

EU-tasolla meriliikenteen rikkipäästöjä rajoitetaan EU:n rikkidirektiivillä (2005/33/EY), joka sisältää MARPOL-yleissopimuksen liitteen VI mukaiset määräykset laivojen käyttämän polttoaineen rikkipitoisuudesta. Rikkidirektiivin muutosehdotus julkaistiin EU-komission toimesta heinäkuussa 2011 ja lopullinen rikkidirektiivi (2012/33/EU) julkaistiin EU:n virallisessa lehdessä 21.11.2012. EU:n jäsenvaltioiden tuli saattaa direktiivin edellyttämät lait, asetukset ja hallinnolliset määräykset voimaan 18.6.2014 mennessä. EU:n alueella sijaitsevien satamien osalta polttoaineen enimmäisrikkipitoisuus on ollut alkuperäisen rikkidirektiivin (2005/33/EY) mukaan tammikuun alusta 2010 lukien 0,1 %, mikäli alus on viipynyt satamassa yli kaksi tuntia. (Suomen Varustamot s.a.h.)

### 8.2.3 Energiatehokkuusvaatimukset ja tiedonkeruu

MARPOL-yleissopimuksen ilmansuojeluliite sisältää myös tammikuun 2013 alussa voimaan tulleet pakolliset kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen tähtäävät uusien alusten energiatehokkuutta lisäävän energiatehokkuuden suunnitteluindeksi EEDI:n sekä kaikkien alusten operointivaiheessa edellytetävän energiankäyttösuunnitelma SEEMP:n (IMO s.a.d).

EEDI on tärkein yksittäinen tekninen ratkaisu, jolla pyritään edistämään energiatehokkaampien ja samalla vähäpäästöisempien laitteiden ja moottoreiden käyttöä (DNV GL 2015). EEDI-indeksi lasketaan jokaisen uuden laivan suunnitteluvaiheessa, ja se määrittää laivan minimitehokkuusarvot laivan kuluttaman polttoaineen määrälle suhteessa laivan kuljettaman lastin määrään (Tapaninen 2019, 107).

SEEMP on puolestaan kaikille bruttovetoisuudeltaan yli 400 oleville aluksille laadittava energiankäyttösuunnitelma, joka kattaa alusten käytönaikaisia energiatehokkuuteen liittyviä toimenpiteitä, joita ovat mm. reitinvalinta, kitkaa pienentävä rungon puhdistus sekä lastinkäsittelyjärjestelmien käytön optimointi, ja joiden tehokkuutta on seurattava ja parannettava tarvittaessa (Repka ym. 2017, 16).

EEDI:n ja SEEMP:n lisäksi on olemassa vapaaehtoisuuteen perustuva EEOI-indeksi (Energy Efficiency Operational Indicator), jonka avulla voidaan mitata ja seurata SEEMP:n rinnalla alusten energiatehokkuutta sekä tarkastella tehokkuuden parantamiseksi tehtyjen toimenpiteiden vaikutusta. (DNV GL 2015.)

Sekä IMO:lla, että EU:lla on yhteneväiset ja selkeät tavoitteet vähentää meriliikenteen aiheuttamia kasvihuonekaasu- ja CO<sub>2</sub>-päästöjä. Molempien tahojen operatiivisiin toimenpiteisiin kuuluvat myös edellä mainittujen lisäksi samanlaiset, vaikkakin erilliset alusten tiedonkeruujärjestelmät:

- EU MRV (Monitoring, Reporting and Verification of CO<sub>2</sub> emissions)
- IMO DCS (Data Collection System on fuel consumption)

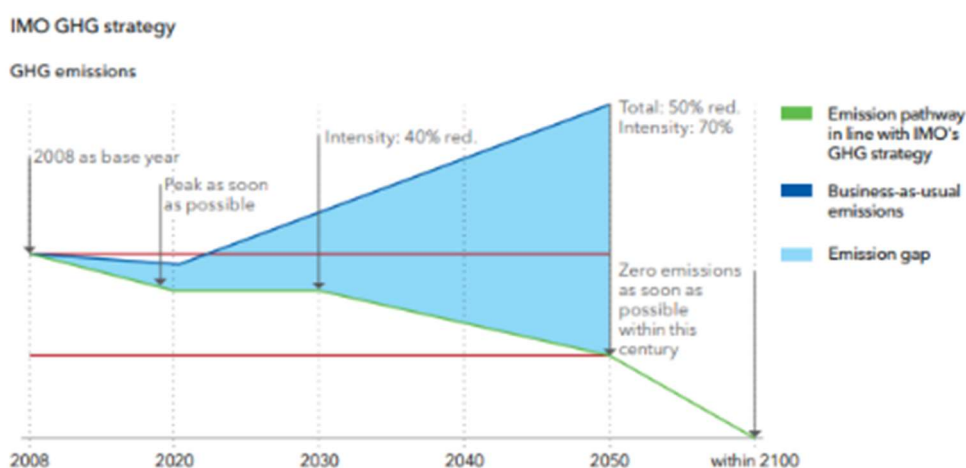
(DNV GL 2019a.)

Molempien järjestelmien asettamat vaatimukset ovat pakollisia, ja ne ovat meriteollisuuden ottamat ensiaskeleet meriliikenteen päästöjä koskevan datan keräämiseen ja analysointiin. IMO:n osalta järjestelmän käyttö tuli globaalisti pakolliseksi osana ilmansuojeluliitettä tammikuussa 2019 ja EU:n järjestelmän mukainen tiedonkeruu aloitettiin EU:n alueella vuotta aiemmin 1.1.2018. Päättöksi siitä, kuinka järjestelmät toimivat synergiassa keskenään ei ole vielä tehty. (DNV GL 2019a.)

### 8.3 IMO:n tavoitteet merenkulun päästövähennyksille

Kuten luvussa 5 todettiin, merenkulku ei sisältynyt ilmaston lämpenemisen rajoittamiseen tavoittelevaan vuonna 2015 solmittuun Pariisin ilmastosopimukseen. IMO:n odotettiin tuolloin reagoivan GHG-päästövähennystavoitteisiin omilla toimillaan. Odotetusti huhtikuussa 2018 IMO hyväksyi merenkulkua koskevan GHG-strategian, jonka mukaisesti merenkulun GHG-päästöt on käännettävä laskuun mahdollisimman pian, ja CO<sub>2</sub>-päästöjä tulee vähentää vähintään 40 % vuoteen 2030 mennessä sekä vähintään 70 % vuoteen 2050 mennessä. Vertailuarvona käytetään vuoden 2008 arvoja. IMO:n strategian tavoitteena on nollata meriliikenteen aiheuttamat GHG-päästöt vaiheistetusti kokonaan vuosisadan loppuun mennessä. Tavoitteet on määrää päivittää DCS:n tuottaman datan perusteella vuonna 2023. (DNV GL 2018, 58.)

Kuvan 11 kaaviossa on esitetty IMO:n GHG-strategian mukaiset meriliikenteen päästövähennystavoitteet vaiheittain graafisessa muodossa. Ylin sininen viiva kuvastaa päästöjen arvioitua kehitystä ilman aktiivisia vähennystoimia, punaiset viivat vuosien 2008 ja 2050 tasoa, ja vihreä viiva GHG-strategian mukaisia vaiheittaisia päästövähennyksiä.



Kuva 11. IMO:n GHG-strategia graafisessa muodossa (DNV GL 2018)

### 8.4 Euroopan unionin päästövähennystavoitteet

EU:n ilmastopolitiikan tavoitteena on vähentää kaikkien päästöjä aiheuttavien sektoreiden GHG-päästöjä 80 % vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasoon verrattuna. Välitavoitteiksi on asetettu 40 % ja 60 % vähennykset vuosiin

2030 ja 2040 mennessä. Merenkulun osalta tavoitteet ovat johtaneet mm. EU:n MRV-järjestelmän käyttöönottoon vuonna 2018. (DNV GL 2018a, 58.) Mikäli IMO ei esitä tavoitteiden saavuttamiseksi riittäviä toimenpiteitä vuoteen 2023 mennessä, saatetaan merenkulkusektori liittää vuonna 2023 mukaan EU:n päästökauppajärjestelmä ETS:ään. EU:n komission tavoitteiden mukaisesti Eurooppa on hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä. (Martiala 2020.)

## **8.5 Marinin hallituksen hallitusohjelma**

Suomen linjaukset liikenteen päästövähennyksistä ovat merkittävästi IMO:n ja EU:n tavoitteita tiukemmat. Suomi on sitoutunut osana Euroopan unionia Pariisin ilmastopimukseen ja on eduskuntapuolueiden yhteisen linjauksen mukaisesti sitoutunut rakentamaan ilmastotoimia siten, että EU:n hiilineutraalius saavutetaan vuoteen 2050 mennessä. Marinin hallituksen hallitusohjelman mukaan (2019) tavoitteiden saavuttaminen vaatii kuitenkin päästövähennysten tiukentamista. (Valtioneuvosto 2019b.) Tavoitteeksi on asetettu, että Suomi on hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiivinen pian sen jälkeen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että GHG-päästöjä tulee vähentää 70 % vuoteen 2035 mennessä vuoden 1990 tasoon nähden. (Mäkinen 2020, 9.)

Liikenne- ja viestintäministeriön asettama työryhmä valmistelee parhaillaan Marinin hallitusohjelman mukaista fossiilittoman liikenteen tiekarttaa, jonka tehtävänä on esittää keinot, joiden avulla asetetut tavoitteet saavutetaan. Väli-tavoitteena on vähintään puolittaa kotimaan liikenteen GHG-päästöt vuoteen 2030 mennessä. (Valtioneuvosto 2019c.) Tavoitteet hiilineutraaliudesta arvioidaan uudelleen vuonna 2025, jolloin huomioidaan mm. teknologinen kehitys ja uusin tieteellinen tieto sekä muiden maiden sitoumukset ja mahdollisuudet käyttää kansainvälisiä joustoja. (Valtioneuvosto 2019b.)

## **9 PÄÄSTÖJEN VÄHENNYSKEINOT**

Tämän luvun tarkoituksena on koostaa eri lähteistä yhteen keinoja, joiden uskotaan tuovan vähennyksiä meriliikenteen aiheuttamiin GHG-päästöihin. Näin saadaan luotua realistinen ja ajankohtainen tilannekuva siitä, ovatko eri tahojen asettamat päästövähennystavoitteet saavutettavissa olemassa olevan keinovalikoiman avulla. Luvussa tarkastellut vaihtoehtoiset polttoaineet sekä muut päästövähennyksiä aiheuttavat keinot ovat, tai ovat olleet pilotoinnissa



merenkulun sovellutuksissa. Tutkimuksen suunnitteluvaiheessa sen ulkopuolelle rajatut keinot ja teknologiat, kuten mm. ydin-, sähkö- ja aurinkoenergian hyödyntäminen alusten propulsiossa, eivät mahtuneet työn rajoitetun laajuuden vuoksi mukaan tarkasteluun.

## **9.1 Vaihtoehtoiset polttoaineet**

Itämeren meriliikenteessä yleisimmät laivojen käyttämät polttoaineet koostuvat jäännös öljyistä sekä raskaasta ja kevyestä polttoöljystä, joita ovat raskas polttoöljy (HFO), meridiesel (MDO), kaasuöljy (MGO) sekä viime aikoina yleistynyt nesteytetty maakaasu (LNG). HFO on yleensä rikkipitoisuudeltaan yli 0,5 %, mutta sen käyttö on edelleen mahdollista, mikäli laivaan on asennettu rikkipäästöjä alentava pakokaasunpuhdistusjärjestelmä tai rikkipesuri. Käyttöön on tullut myös vähärikkisiä polttoaineita, joita kutsutaan hybridi- tai ECA-polttoaineiksi. (Helcom 2019b, 9.)

### **9.1.1 LNG**

Nesteytetty maakaasu eli LNG on -162 asteeseen jäähdytettyä maakaasua. Kyseisessä lämpötilassa kaasu nesteytyy ja sen tilavuus pienenee 600 kertaiseksi mahdollistaen sen helpomman varastoinnin ja kuljetuksen kaasuverkoston ulkopuolella sijaitseviin kohteisiin (Gasum s.a.a). LNG koostuu pääasiassa metaanista ja typestä sekä pienistä määristä etaania, propaania ja hiiltä. Se on ominaisuuksiltaan hajuton, väritön, myrkytön ja syövyttämätön sekä puhtain saatavilla oleva meriliikenteessä käytetty fossiilinen polttoaine. LNG-käyttöisten alusten moottorit voivat toimia pelkästään LNG:llä, tai ne voivat olla ns. dual-fuel moottoreita, jolloin polttoaineena voidaan käyttää joko LNG:tä tai vaihtoehtoisesti HFO/MGO:ta. Dual-fuel moottoritekniikka jakautuu edelleen matala- ja korkeapainemoottoreihin. (HELCOM 2019b, 12–13.) Kuvan 12 taulukossa on vertailtu LNG-käyttöisen moottorin pakokaasupäästöjen sisältämien haitallisten komponenttien määrän vähentymistä verrattuna muita fossiilisia polttoaineita käyttävään moottoriin

Päästölaji	Vähennys LNG:tä käytettäessä
SO <sub>x</sub>	100 %
NO <sub>x</sub> , Low pressure engines	85 %
NO <sub>x</sub> , High pressure engines	40 %
CO <sub>2</sub>	25-30 %
PM <sub>2,5</sub>	95-100 %

Kuva 12. LNG:n tuomat päästövähennykset muihin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna (Helcom 2019)

LNG on tällä hetkellä kaikkein varteenotettavin vaihtoehto laivojen käyttämän HFO:n korvaajaksi. LNG:n lisääntyvä käyttöönotto perustuu sen kilpailukykyiseen hintaan, teknologian kehitykseen, päästörajoituksiin (SECA, NECA) ja parantuneeseen saatavuuteen infrastruktuurin kehittyessä sen ympärillä jatkuvasti. LNG:n käyttö meriliikenteen polttoaineena tuo ympäristönäkökulmasta selkeitä etuja, sillä se poistaa käytännössä rikki- ja pienhiukkaspäästöt kokonaan, vähentää merkittävästi typpipäästöjä ja hieman myös GHG-päästöjä. Heikko LNG:n saatavuus on rajoittanut sen laajaa käyttöönottoa. EU:n direktiivi (2014/94/EU) velvoittaa sen jäsenvaltiot kehittämään vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelun infrastruktuuria LNG:n saatavuuden parantamiseksi, ja jäsenvaltioita on pyydetty varmistamaan, että vuoden 2025 loppuun mennessä laivat voivat purjehtia Euroopan laajuisessa TEN-T ydinverkossa käyttämällä LNG:tä. (HELCOM 2019b, 13–14; Väylävirasto 2020.)

LNG:n käyttö laivojen polttoaineena kasvaa Navigator Magazinen artikkelin (2019) ja ICCT:n (International Council on Clean Transportation) raportin (2020) perusteella huikeaa vauhtia. Globaalisti kaasuenergialla seilaa yli 700 alusta ja Itämerellä monet varustamot, kuten mm. Viking Line, Silja Line, ESL Shipping ja Containerships sekä vartiolaiva Turva ja jäänmurtaja Polaris operoivat jo nyt LNG-käyttöisillä aluksilla. Myös metsäjätti UPM on tehnyt Hollantilaisen Spliethofin kanssa pitkän aikarahtaus sopimuksen, jonka mukaan sen kuljetukset perustuvat seitsemään uuteen LNG-käyttöiseen alukseen. Niin ikään mm. ruotsalainen Wallenius-SOL uusii tonnistoaan LNG-käyttöisillä aluksilla. Trendi LNG:n käytön kasvusta on hyvin pääteltävissä myös telakoiden LNG-käyttöisten alusten suuresta tilauskannan kasvusta. Kasvua vuosien 2018 ja 2019 välillä oli 180 %. (Pervilä 2019; Pavlenko ym. 2020, 2.)

Vaikka LNG:n käytön osuuden meriliikenteen polttoaineista arvioidaan olevan vuoteen 2050 mennessä noin 40–70%, on sen kokonaisvaikutus GHG-päästöjen vähentämiseen melko vaatimaton. DNV GL arvioi raportissaan LNG:n käytön vähentävän meriliikenteen GHG-päästöjä edellä mainitussa laajuudessa maksimissaan 20 %. (DNV GL 2017, 19.) Myös ICCT toteaa raportissaan (Pavlenko ym. 2020, 2), ettei yksin LNG:n käytöllä kyetä saavuttamaan IMO:n GHG-strategian mukaisia päästövähennystavoitteita.

### 9.1.2 Biopolttoaineet

Biopolttoaine on yleisnimitys useille biomassasta tuotetuille nestemäisille tai kaasumaisille polttoaineille. Laivojen käyttämistä biopolttoaineista lupaavimpia ovat mm. vetykäsitelty kasviöljy (HVO), rasvapohjainen biodiesel (FAME) sekä nesteytetty biokaasu (LBG). Biopolttoaineiden käyttöä meriliikenteessä edistävät merenkulun kasvihuonekaasujen vähentämistavoitteet, joita on käsitelty aiemmin luvussa 8. Useiden tutkimusten mukaan biopolttoaineiden käyttö on yksi niistä harvoista keinoista, joiden avulla IMO:n asettamat tavoitteet ovat saavutettavissa vuoteen 2050 mennessä. (DNV GL 2019b, 27.) Laajan käyttöönoton haasteina ovat kuitenkin heikko saatavuus sekä perinteisiin polttoaineisiin nähden korkea hinta (HELCOM 2019b, 10).

Nesteytetty biokaasu (LBG), joka tunnetaan myös nimellä nesteytetty biomeetaani ja bio-LNG, on fossiiliton ja kokonaan uusiutuva energianlähde. Sen käyttö meriliikenteen polttoaineena poistaa typen- ja rikin oksidien sekä pienhiukkasten päästöt miltei kokonaan, ja vähentää meriliikenteen aiheuttamia CO<sub>2</sub>-päästöjä perinteisiin polttoaineisiin verrattuna jopa 85 %. (Gasum s.a.b.) LBG:n suurena etuna on, että LBG ja LNG voidaan sekoittaa keskenään ja sen jakelussa voidaan hyödyntää LNG:n ympärille rakennettua infrastruktuuria. LNG-käyttöiset alukset ovat myös yhteensopivia LBG:lle ilman mootto-reille, säiliöille tai putkistoille tehtäviä muutoksia. (DNV GL 2019b, 27–29.)

HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) on tuorein tulokas ja nk. toisen sukupolven biodiesel vaihtoehtoisten biopolttoaineiden luokassa. Sitä valmistetaan mm. jäte- ja rapsiöljystä poistamalla niiden sisältämä happi vedyn avulla. Valmistukseen voidaan käyttää myös teollisuuden tähteitä ja jätteitä. (Scania s.a.a;

DNV GL 2019b, 27–29.) HVO on pääsääntöisesti yhteensopiva olemassa olevan infrastruktuurin sekä moottorijärjestelmien kanssa, joka tekee siitä ominaisuuksiltaan sopivan fossiilisten polttoaineiden korvaajan. HVO:n käyttö tuottaa hyvin vähän SO<sub>x</sub>- ja pienhiukkaspäästöjä, vähentää NO<sub>x</sub>-päästöjä noin 10 % ja voi pienentää CO<sub>2</sub>-päästöjä parhaimmillaan 90 % verrattuna perinteisiin polttoaineisiin. NO<sub>x</sub>-päästöjen osalta HVO ei täytä IMO:n Tier III-tason vaatimuksia ilman teknisiä typpipäästöjä vähentäviä lisäratkaisuja. HVO:n käytöstä laivojen polttoaineena on melko vähän kokemuksia. Sitä käytetään tällä hetkellä mm. kolmella Norjassa liikennöivällä lautalla, eikä sen käytöstä ole toistaiseksi raportoitu mitään kielteistä. (Biofuel Express s.a.; DNV GL 2019b, 27–29.) Uusiutuvaa dieseliä HVO:ta tuotetaan mm. Suomessa tuotemerkeillä Neste MY, Teboil Green+ sekä UPM BioVerno (Scania s.a.a).

Biodiesel, jota merkitään kirjainyhdistelmällä FAME (Fatty Acid Methyl Ester), on nk. ensimmäisen sukupolven biopohjaista dieseliä. Sitä valmistetaan esteröimällä (kemiallinen reaktio) eläin- ja kasvirasvoista yleensä maakaasusta valmistetun metanolin avulla. Valmistusprosessin raaka-aineena voidaan käyttää mm. rypsiä ja rapsia sekä ravintoloiden paistorasvoja. (Scania s.a.b.) Biodieselin käyttöä rajoittaa se, että sitä saa käyttää dieseltuotteissa maksimissaan 7 % pitoisuuksina, ja sen lisääminen heikentää polttoaineen laatua ja säilyvyyttä (Neste s.a.) FAME tuottaa HVO:n ja LBG:n tavoin hyvin vähän SO<sub>x</sub>- ja PM<sub>2,5</sub>-päästöjä. Sen sijaan NO<sub>x</sub>-päästöt ovat perinteisiin polttoaineisiin verrattuna noin 10 % suuremmat. Erilaisten FAME-seosten soveltuvuutta meriliikenteeseen on testattu useissa lyhytkestoisissa hankkeissa. Sen on todettu toimivan heikosti kylmissä olosuhteissa, lisäävän korroosiota ja mikrobien kasvua sekä lisäävän alusten ylläpitokustannuksia. (DNV GL 2019b, 27–29.)

### 9.1.3 Polttokennot

Vetypohjainen polttokennoteknologia (Fuel Cell) on yksi lupaavimmista meriliikenteen vaihtoehtoisista energianlähteistä. Uusiutuvalla energialla tuotetun vedyn käyttöön perustuva polttokennoteknologia on puhdas ja täysin päästötön energianlähde. Suomenkielinen termi polttokenno johtaa hieman harhaan, sillä polttokennossa ei pala mikään, vaan se tuottaa sähköä pariston tavoin kemiallisesti vapauttaen sähköä lisäksi päästöinä vain lämpöä ja puhdasta vettä. (Vänskä 2018.) Polttokennoja on käytetty aiemmin sähköntuotantoon

pääasiassa sukellusveneissä ja avaruusteknologiassa, jonka seurauksena teknologinen kehitys on kypsynyt kaupalliseen käyttöön asti mm. trukeissa sekä erilaisissa sähkön- ja lämmöntuotantoon liittyvissä generaattoreissa. Kaupallisten ratkaisujen saaminen markkinoille on lähellä myös henkilö- ja linja-autoissa sekä rekoissa ja raideliikenteen sovelluksissa. (DNV GL 2018a, 79.)

Vetypohjaisten polttokennoratkaisuiden käyttö meriliikenteessä on vielä varhaisessa kehitys- ja testausvaiheessa. Suuren haasteen polttokennojen laajalle käytölle muodostavat vielä toistaiseksi toimivan vetyinfrastruktuurin puute, suuret investointikustannukset sekä teknologian vaatima suuri tilantarve aluksissa. (ABB 2018; HELCOM 2019b, 12.) Nollapäästöisen vetyteknologian käytöstä Euroopan meriliikenteessä on käynnissä yhteiseurooppalainen VTT:n (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy) koordinoima FLAGSHIPS innovaatiohanke, jonka tavoitteena on tuoda kaupalliseen liikenteeseen kaksi vedyllä kulkevaa alusta Norjassa ja Ranskassa. Hankkeessa laivojen polttoaineena käytettävä vety tuotetaan uusiutuvan sähkön avulla vedestä, ja niiden on määrä aloittaa liikennöinti vuoden 2021 aikana. (VTT 2019.)

Myös SYKE:lla (Suomen ympäristökeskus) ja VTT:llä on käynnissä merentutkimusalus Arandalla kokeiltava projekti, jossa vetypohjaista polttokennoteknologiaa kehitetään yhteistyössä mm. ABB:n ja Otaniemen kanssa meriliikenteen tarpeisiin. Hankkeessa rakennetaan Arandan kannelle sijoitettava koelaitos, jonka polttokennolaitteisto tuottaa vedestä päästötöntä sähköä. Koekäytön on tarkoitus alkaa kesällä 2020. (VG Shipping 2019.) Laitteiston tuottama teho riittää aluksen valaistukseen ja lämmittämiseen, mutta ei vielä potkureiden pyörittämiseen (Pajala 2019).

#### **9.1.4 Metanoli**

Metanoli on kemialliselta rakenteeltaan yksinkertaisin alkoholin muoto ja yleisimmin kemianteollisuuden raaka-aineena käytetty tuote. Metanolia tuotetaan pääasiassa maakaasusta, mutta valmistaminen on mahdollista myös muista fossiilisista tai uusiutuvista energianlähteistä. Suomessa, Ruotsissa ja Kanadassa uusiutuvista lähteistä peräisin olevaa metanolia valmistetaan mm. metäteollisuuden jätteistä, biojätteestä sekä hiilidioksidista. (Helcom 2019b, 9.)

Metanoli pysyy maapallon ilmasto-olosuhteissa nesteenä, eikä se sisällä lainkaan rikkiä, josta syystä se on helposti varastoitavana nesteenä yhä kasvavan kiinnostuksen kohteena vaihtoehtoiseksi meriliikenteen polttoaineeksi. Metanolin käyttöönottoon liittyvien järjestelmien kustannukset ovat yli 50 % LNG:n vastaavia pienemmät ja sitä voidaan varastoida laivoilla pienin muutoksin nestemäisten polttoaineiden säiliöissä. (DNV GL 2019c, 46.) Metanoli on globaalisti yksi laajimmin laivoilla kuljetetuista kemikaaleista, josta syystä sitä käsitellään jo nyt useimmissa terminaleissa. Se on myös biohajavaa ja ympäristöystävällisempää kuin öljypohjaiset polttoaineet. (Lean Ships 2016.)

Metanolin käyttöä laivojen polttoaineena on tutkittu mm. Ruotsissa kaksi vuotta kestäneessä Greenpilot-hankkeessa vuosina 2016–2018, jossa luotsiveneen polttoaineena käytettiin bioetanolia. Projektin lähtökohtana oli tutkia, voidaanko biometanolin käytöllä saavuttaa Ruotsin valtion asettamat tavoitteet, joiden mukaan kaikki valtio-omisteiset alukset operoivat fossiilittomilla polttoaineilla vuosiin 2030 tai 2045 mennessä. Saadut tutkimustulokset osoittivat, että biometanolin käytöstä ei tullut lainkaan SO<sub>x</sub>-päästöjä, PM<sub>2,5</sub>-päästöt olivat lähes olemattomat ja NO<sub>x</sub>-päästöt vähenivät IMO:n Tier III vaatimusten tasolle. Tutkimus osoitti myös, että biometanolin käyttö vähensi luotsiveneen GHG-päästöjä 99 % verrattuna MGO:hon ja soveltuu siten polttoaineena vastaamaan merenkulun kiristyvään ympäristösäätelyyn. (Ramne ym. 2018.) Vastaavia tuloksia on saatu myös SPIRETH-projektista, jossa Ruotsalaisen Stena Line -varustamon Itämerellä liikennöivä ropax-alus Stena Germanica muunnettiin metanolikäyttöiseksi vuonna 2015 (Marine Insight 2020).

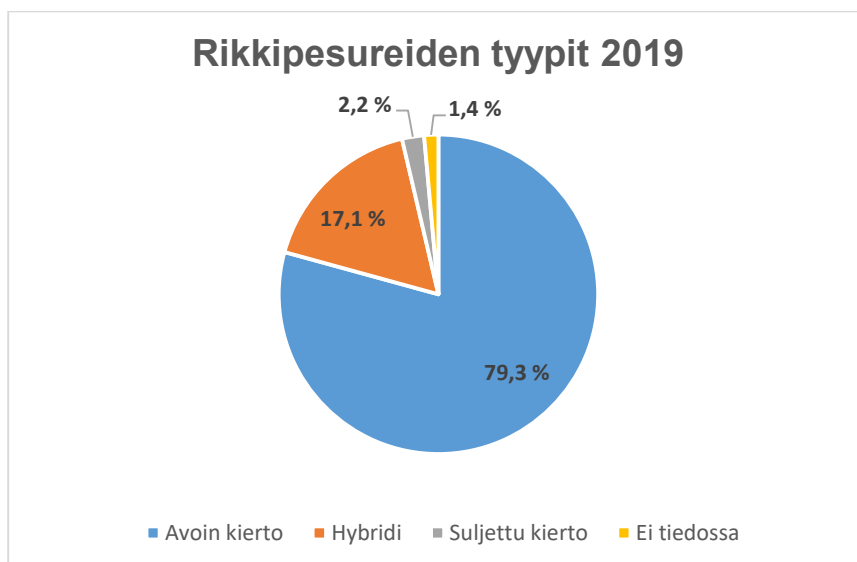
Metanolia voidaan käyttää myös polttokennojen polttoaineena. Tällainen järjestelmä on asennettu Helsingin ja Tukholman väliä liikennöivän MS Mariellan takakannelle, jossa vuonna 2016 käyttöönotettu järjestelmä tuottaa sähköä suoraan aluksen sähköverkkoon. (DNV GL 2019b, 46; Viking Line 2017, 26.) Metanolin nykytuotannon uskotaan riittävän meriliikenteen tarpeisiin vuoteen 2030 saakka, mikäli käytön kasvu pysyy maltillisena. Hinnaltaan metanolin operointikustannukset vastaavat MGO:n käyttöä. (DNV GL 2019b, 25.)

## 9.2 Rikkipesurit

Yksi vaihtoehto vähentää meriliikenteen aiheuttamia ilmapäästöjä on rikkipesureiden käyttö. Pesurit voidaan asentaa joko uusiin aluksiin, tai ne voidaan ottaa käyttöön jo olemassa olevissa aluksissa ns. jälkiasennuksena, joka mahdollistaa edelleen edullisempien korkearikkisten polttoaineiden käytön. (Pöntynen & Lempiäinen 2015, 27). Rikkipesurit voidaan jaotella niiden toimintaperiaatteen mukaisesti merivettä käyttäviin avoimen- ja makeaa vettä käyttäviin suljetun kierron järjestelmiin, niiden hybridiratkaisuihin sekä kalkkikiveä käyttäviin kuivapesureihin.

Avoimen kierron järjestelmässä pakokaasuun ruiskutetaan suuria määriä merivettä, joka neutraloi sen sisältämät happamat kaasut. Käytetty pesuvesi johdetaan prosessissa poistoputkien kautta mereen. Suljetun kierron järjestelmässä kemikaaleja sisältävää pesuvettä kierrätetään tankin ja pesurin välillä, ja käytetty pesuvesi voidaan jättää sitä vastaanottaviin satamiin. Hybridijärjestelmässä pesuria voidaan käyttää molemmilla em. tavoilla. (DNV GL 2019d, 10–13.) Kuivapesurin toiminnassa ei sen sijaan käytetä sen nimensä mukaisesti lainkaan vettä, vaan pakokaasun sisältämä rikki poistetaan kalkkikivirakeiden avulla. Prosessin tuloksena syntyy kipsiä, jota voidaan käyttää mm. seinälevyjen valmistuksessa. (Den Boer & Hoen, 11.)

DNV GL:n (2019) arvion mukaan vuoden 2020 alussa globaalisti rikkipesureita käyttää yli 2700 alusta. Suurin osa näistä on avoimen kierron järjestelmiä, sillä se soveltuu yksinkertaisuutensa vuoksi parhaiten jälkiasennuksiin. Kuvassa 13 on esitetty pesureiden prosentuaalinen jakauma eri tyyppien välillä. (DNV GL 2019d, 22.)



Kuva 13. Rikkipesureiden tyypit maailman merillä vuonna 2020 (DNV GL 2019)

Itämerellä arvioitiin liikennöivän vuonna 2017 noin 200 rikkipesurilla varustettua alusta. Osa EU-maista on kieltänyt avoimen kierron pesurit, sillä mereen pumpattujen pesuvesien uskotaan olevan haitallisia meriympäristölle. (Klopott 2017, 15). Itämeren maista kieltoja pesuvesien laskulle ovat asettaneet Viro, Latvia, Liettua sekä Saksa (Safety4Sea 2020). Rikkipesureiden käyttö vähentää SO<sub>2</sub>-päästöt lähes nollaan, ja saattaa myös olla taloudellisesti houkutteleva vaihtoehto vähentää merenkulun päästöjä. Pitkällä aikavälillä tarkasteltuna se ei ole kuitenkaan varteen otettava vaihtoehto GHG-päästöjen vähentämiseen, sillä se kannustaa jatkamaan huonolaatuisten polttoaineiden käyttöä. (DNV GL 2017, 20.)

### 9.3 Tuulivoima

Meriliikenteen aiheuttamia GHG-päästöjä voidaan vähentää myös hyödyntämällä tuulivoimaa laivojen energiantuotannon apuvälineenä. Useita erilaisia tuulivoimaa hyödyntäviä teknologioita on parhaillaan kehitys- ja testivaiheessa, ja jotkut niistä ovat jo kaupallisesti saatavissa ja jälkiasennettavissa olemassa oleviin laivoihin (DNV GL 2019b, 38).

Näistä tunnetuin ratkaisu lienee jo Itämeren meriliikenteessäkin käytössä oleva roottoripurje. Idea on lähtöisin jo 1920-luvulta, jolloin saksalainen insinööri Anton Flettner keksi, että laivaan asennettu roottori voisi liikuttaa sitä eteenpäin. Flettner todisti idean toimivuuden rakentamallaan Baden Baden laivalla, joka ylitti Atlantin kahden sähkökäyttöisen roottorin avulla. (Viking Line



s.a.) Idea ei kuitenkaan saavuttanut enempää suosiota, sillä dieselmoottorit olivat juuri valtaamassa merenkulkualaa, eikä laivojen ympäristövaikutuksista tuolloin vielä välitetty lainkaan. Roottoripurjeen toiminta perustuu Magnus-ilmiöön, jossa ilmavirrassa pyörivä sylinteri tuottaa työntövoimaa. (Lampila 2018.)

Roottoripurjeita on asennettu DNV GL:n (2019, 40) mukaan sen keksimisen jälkeen kahdeksaan laivaan, joista yksi on Turun ja Tukholman väliä liikennöivä M/S Viking Grace (DNV GL 2019b). Suomalaisen Norsepowerin toimitama roottoripurje vähensi Viking Gracen polttoaineenkulutusta vuosien 2018–2019 välillä noin 300 tonnia. Muita Norsepowerin roottoripurjetta käyttäviä aluksia ovat mm. Boren roro-alus M/S Estraden ja Maerskin tankkeri Maersk Pelican. (Norsepower 2019.) Kuvassa 14 on Viking Linen ropax-alus Viking Grace, jonka yläkannelle on asennettuna Norsepowerin roottoripurje. DNV GL:n (2020) mukaan roottoripurjeen avulla voidaan saavuttaa 10–20 % säästöt polttoaineenkulutuksessa (DNV GL 2020).



Kuva 14. Viking Gracen yläkannelle asennettu roottoripurje (Iltalehti 2019)

Muita tuulivoimaa hyödyntäviä purjeisiin perustuvia ratkaisuja ovat mm. lentokoneista mallinnetut jäykät siipipurjeet, tietokoneohjatut DynaRig -konseptiin perustuvat pehmeät purjeet, perinteisistä purjealuksista tutut pehmeät purjeet sekä ns. leijapurjeet (DNV GL 2020).

#### **9.4 Muita keinoja vähentää alusten ilmapäästöjä**

Alentamalla laivojen kulkunopeutta voidaan vähentää polttoaineenkulutusta, joka tarkoittaa samalla pienempiä GHG-päästöjä. CE Delftin tutkimusrapor-

tissa on tarkasteltu CO<sub>2</sub>-päästöjen vähenemistä alentamalla laivojen kulkunopeutta 10, 20 ja 30 % (Faber ym. 2017). Kuvan 15 taulukko osoittaa CO<sub>2</sub>-päästöjen vähennyspotentiaalin prosentteina kyseissä tapauksissa.

Alustyyppi	kulkunopeus -10%	kulkunopeus -20%	kulkunopeus -30%
Konttialus	13 %	23 %	32 %
Kuivarahtialus	15 %	28 %	38 %
Tankkeri	10 %	18 %	24 %
<b>Yhteensä (KA)</b>	<b>13 %</b>	<b>24 %</b>	<b>33 %</b>

Kuva 15. Alusten nopeuden alentamisen vaikutukset CO<sub>2</sub>-päästöihin (Faber ym. 2017)

GL Reynoldsin (2019) toisessa aihetta käsittelevässä tutkimuksessa arvioitiin, että nopeuden alentamisen vähentämä polttoaineen kulutus vähentää CO<sub>2</sub>-päästöjen lisäksi samassa suhteessa myös pienhiukkas- sekä NO<sub>x</sub> ja SO<sub>x</sub>-päästöjä (GL Reynolds 2019, 1–2). Laivojen kulkunopeuksien alentamiseen liittyy päästövähennyspotentiaalista huolimatta myös negatiivisia puolia. Nopeuden alentaminen vähentää samalla myös kuljetuskapasiteettia, jonka palauttaminen ennalleen vaatii uusien aluksien rakentamista. Pidentyvät kuljetusajat myös lisäävät rahdin omistajien rahtiin sidotun pääoman kustannuksia. (DNV GL 2019c, 89.)

Meriliikenteen aiheuttamia GHG-päästöjä voidaan vähentää myös kytkemällä alukset satamassaolon ajaksi maasähkөө. Tällöin alusten turvajärjestelmien, jäähdytyksen, lämmityksen, valaistuksen, ilmanvaihdon ja muiden energiaa vaativien järjestelmien käyttämää sähköä ei tarvitse tuottaa alusten polttoaineella toimivien apukoneiden avulla. Itämerellä maasähkөө on saatavissa osassa Ruotsin, Saksan ja Suomen satamista. (Helcom 2019b, 24.) EU on vaatinut maasähkөөjärjestelmien käyttöönottoa satamissaan vuoteen 2025 mennessä (CBSS 2020). Maasähkөөn käyttöönotto voi vähentää laivojen aiheuttamia satamassaolon aikaisia ilmapäästöjä 50–80 % (Valtanen 2019).

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa faktoihin perustuva tilannekuva Itämeren meriliikenteen aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä sekä kartoittaa käytettävissä olevia keinoja, joiden avulla päästöjä kyetään vähentämään. Tavoitteena oli myös saada vastaus siihen, ovatko IMO:n, EU:n ja

Sanna Marinin hallitusohjelman mukaiset merenkulkua koskevat päästövähennystavoitteet saavutettavissa annettuihin määräaikoihin mennessä käytävissä olevan keinovalikoiman avulla. Työlle asetettuja tavoitteita taustoitettiin tarkastelemalla alusten aiheuttamia ilmapäästöjä päästölajeittain sekä avaamalla soveltuvin osin niihin liittyvää säätelyä ja päästöjen aiheuttamia vaikutuksia Itämeren alueen luonnolle sekä ihmisille. Opinnäytetyön kirjoittaminen ajoittui päällekkäin keväällä 2020 vallinneen koronapandemian kanssa, josta syystä yhteydenpito toimeksiantajana toimineen Merenkulun TKI:n kanssa jäi oppilaitoksen poikkeusjärjestelyiden vuoksi olemattomaksi. Tästä syystä toimeksiantajan rooli ei ole juurikaan työssä nähtävissä. Esim. toimeksiantajapalvelua ei vielä tätä lukua toukokuussa 2020 kirjoittaessa ole pidetty lainkaan. Asetetut tavoitteet kuitenkin saavutettiin em. haasteista huolimatta niiltä osin, kuin ne julkisista lähteistä saatavilla olevien tietojen perusteella olivat saavutettavissa. Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet pyrittiin saavuttamaan vastamalla alla esitettyihin kahteen tutkimuskysymykseen sekä näiden kahteen alakysymykseen, jotka olivat:

- Mitä Itämeren meriliikenteen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ovat?
- Miten Itämeren meriliikenteen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä kyetään vähentämään?
  - Ovatko asetetut päästötavoitteet saavutettavissa?
  - Ovatko asetetut päästötavoitteet realistisia?

Vastaukset tutkimuskysymyksiin löytyivät ja muodostuivat opinnäytetyössä käytettyjä lähteitä tutkimalla ja itse opinnäytetyötä kirjoittamalla. Kokonaisuus koostui palanen kerrallaan siten, että materiaalia käsiteltäessä sitä tarkasteltiin jatkuvasti tutkimuskysymysten näkökulmasta. Opinnäytetyössä lähteinä käytettyjen dokumenttien ja aiempien tutkimusten perusteella koostettu tieto oli keskenään yhteneväistä, ja soveltui siten hyvin tutkimuskysymysten muodossa esitetyn tutkimusongelman ratkaisemiseen.

Itämeren meriliikenteen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt koostuvat laivojen moottorissa polttoaineen palamisen yhteydessä muodostuvista pakokaasupäästöistä. Pakokaasupäästöjen sisältämät epäpuhtaudet ovat suoraan verrannollisia käytettyyn polttoaineeseen ja sen laatuun. Itämerellä seilaavat

alukset päästävät ilmaan pääosin fossiilisista polttoaineista peräisin olevia hiidioksidia ( $\text{CO}_2$ ), typpioksidia ( $\text{NO}_x$ ), rikkidioksidia ( $\text{SO}_x$ ), pienhiukkas (PM) sekä mustan hiilen (BC) päästöjä. Määrät olivat Helcomin raportin (2019) mukaan samassa järjestyksessä 4,7 Mt, 0,3 Mt, 9000 t ja 9000 t. Päästöt ovat peräisin Itämerellä yleisimmin laivapolttoaineina käytetyistä raskaasta polttoöljystä (HFO), meridieselistä (MDO), kaasuöljystä (MGO) sekä nesteytetystä maakaasusta LNG:stä. (HELCOM 2019b, 9.)

Itämeren meriliikenteen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä on mahdollista vähentää IMO:n 2013 voimaan tulleiden energiatehokkuusvaatimusten EEDI:n ja SEEMP:n, erilaisten teknologisten ratkaisujen sekä vaihtoehtoisten polttoaineiden avulla. Vaihtoehtoisia meriliikenteelle soveltuvia polttoaineita ovat tutkimuksessa käsitellyt LNG sekä erilaiset biopolttoaineet, kuten HVO, FAME ja biometanoli. Päästövähennyksiä lyhyellä aikavälillä voidaan saavuttaa myös käyttämällä rikkipesureita. Ratkaisu saattaa kuitenkin kannustaa varustamoita jatkamaan huonolaatuisten fossiilisten polttoaineiden käyttöä, jolla on puolestaan uuden teknologian kehityksen kannalta haitallisia vaikutuksia. Muita tutkimuksessa tarkasteltuja keinoja vähentää meriliikenteen aiheuttamia ilmapäästöjä ovat laivojen kulkunopeuden alentaminen, maasähkö- ja polttokennojärjestelmien sekä tuulivoiman hyödyntäminen erilaisten purjeiden avulla. Tutkimuksessa käytettyjen dokumenttien perusteella suurin päästövähennyspotentiaali on saavutettavissa käyttämällä biopohjaisia polttoaineita, kuten nesteytettyä biokaasua LBG:tä tai bioetanolia. Hyviä tuloksia on myös saavutettavissa yhdistelemällä edellä mainittuja keinoja toisiinsa.

IMO:n asettamien tavoitteiden mukaisesti merenkulun päästöjä tulee vähentää vuoteen 2030 mennessä vähintään 40 % sekä vähintään 70 % vuoteen 2050 mennessä. Vertailuarvona IMO käyttää vuoden 2008 tasoa. EU:n tavoitteena on vähentää vuoteen 2050 mennessä kaikkien sektoreiden GHG-päästöjä 80 % vuoden 1990 tasoon verrattuna ja olla tuolloin hiilineutraali. Välitavoitteiksi on asetettu 40 % ja 60 % vähennykset vuosiin 2030 ja 2040 mennessä. Suomen tavoitteena on puolestaan olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Kaikki kolme tavoitetta ovat toisistaan poikkeavia, ja sisältävät option tavoitteiden uudelleen arvioinnista vuosien 2023 ja 2025 välillä. Ristiriidassa keskenään olevat tavoitteet tekevät kokonaisuuden hahmottamisen todella haastavaksi. Tämän hetken tiedon valossa näyttää siltä, etteivät käytettävissä olevat

päästövähennyskeinot riitä saavuttamaan asetettuja tavoitteita. Hiilineutraaliuden käsite on hieman häilyvä, joka ei suoranaisesti ota kantaa päästöjen absoluuttiseen määrään. IMO:n tavoite on selkeä ja todella kunnianhimoinen. Se pohjautuu muiden ohella kuitenkin sellaisiin päästövähennyskeinoihin, jotka eivät ole vielä laajasti ja kaupallisesti hyödynnettävissä merenkulun tarpeisiin. Laivan elinkaari on Tapanisen (2019, 62) mukaan alustyyppistä riippuen 25–50 vuotta. Tästä näkökulmasta tarkastellen nyt ja viime vuosina vesille lasketut alukset ovat käytössä vielä vuonna 2045. Ne eivät kuitenkaan vastaa päästöiltään vuodelle 2045 asetettuja tavoitteita. Tästä syystä IMO:n, EU:n ja Suomen hallitusohjelman asettamat tavoitteet eivät 2020-luvun teknologian näkökulmasta ole realistisia.

Opinnäytetyö sai alkunsa tammikuun alussa 2020, jolloin havahduin ensimmäisen kerran ajatukseen siitä, että opintoni alkavat olla loppusuoralla. En saanut työlle aiheita harjoittelupaikoistani, joten asetin itselleni aiheen keksimisen takarajaksi tammikuun toisen viikon lopun. Opintojen lomassa herännyt mielenkiintoni ympäristöasioita ja merenkulkua kohtaan sinetöivät lopulta valitsemani aihepiirin kontekstin. Sain ohjaajan ja hyväksynnän nopealla aikataululla keksimälleni aiheelle 14.1.2020. Aloituspalaveri ohjaajan kanssa pidettiin jo seuraavalla viikolla, ja tutkimussuunnitelma valmistui helmikuun puolessa välissä, jonka jälkeen varsinaisen työn tekeminen alkoi. Tiedonkeruun tosin aloitin jo tutkimussuunnitelmaa tehdessä, jolloin totesin yhden työn haastavimmista osa-alueista liittyvän huomattavan suureen ja laajaan materiaalin määrään, josta valtaosa osoittautui vieläpä toiveideni vastaisesti vieraskieliseksi. Työn tekeminen oli varsin intensiivistä välillä helmikuu-huhtikuu. Haasteiksi matkan varrella osoittautuivat koronapandemian aiheuttama koulujen sulkua sekä opintotukeni maksun päättyminen maaliskuussa. Käyttämälläni tietokoneella oli nyt muitakin tarvitsijoita, ja taloudellisten realiteettien sanelemana jouduin keskittymään opinnäytetyön tekemisen ohella työnhakuun, ja toukokuun alusta alkaen työn tekemiseen toisella paikkakunnalla. Kohtaamani ennalta-arvaamattomat haasteet viivästyttivät opinnäytetyön valmistumista ja siihen lopulta käytettävissä ollutta aikaa jonkun verran. Työ kuitenkin valmistui sovitusti toukokuun loppuun mennessä. Oma tahtotilani työhön käytetyn ajan osalta ei toteutunut, jonka koen pienenä tappiona ja näkyvän myös työn lopputuloksessa. Kokonaisuutena opinnäytetyön teko oli kuitenkin varsin hyvä oppimiskokemus. Tieteellisen tekstin tuottaminen oli varsin työlästä ja vaikeaa

kaltaiselleni ”aloittelevalla tutkijalla”. Jälkikäteen ajatellen aiheen rajaukseen olisi voinut käyttää hieman enemmän aikaa ja ajatuksia. Näin toimimalla olisi säästynyt huomattava määrä aikaa aineiston läpikäymisessä, joka olisi ollut käytettävissä itse kirjoitusprosessiin. Henkilökohtaisena tavoitteena oli vain saada työ valmiiksi, jotta pääsen siirtymään elämässäni eteenpäin.

Tuottamaani materiaalia voidaan pitää luotettavana, sillä minulla ei ole minikäänlaisia taloudellisia tai ideologisia kytköksiä tutkimiini asioihin ja lähteinä käyttämiini julkaisijatahoihin nähden. Näkökantani pysyi myös koko prosessin ajan objektiivisena, enkä kokenut minkäänlaisia tunteita tutkimaani aihetta kohtaan puolesta tai vastaan.

## LÄHTEET

- ABB. 2018. Tavoitteena täysin päästötön meriliikenne. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://new.abb.com/news/fi/detail/11446/tavoitteena-taysin-paastoton-meriliikenne> [viitattu 16.4.2020].
- Aunola, V. 2019. Merenkulkuala on edelläkävijä päästöjen vähentämisessä. *Navigator magazine* 13.5.2019. Verkkolehti. Saatavissa: <https://navigatormagazine.fi/uutiset/meriliikenne-ja-varustamot/mrenkulkuala-ottaa-paastojen-vahentamiseen-tosissaan/> [viitattu 25.3.2020].
- Biofuel Express. s.a. HVO100 renewable diesel performance meets sustainability. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.biofuel-express.com/en/hvo/> [viitattu 15.4.2020].
- CBSS. 2020. Electrifying Potential: Shore-side Power Generation in the Baltic Sea Region. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.cbss.org/electrifying-potential-shore-side-power-generation-in-the-baltic-sea-region/> [viitattu 22.4.2020].
- Comer, B. 2019. Black Carbon and Maritime Shipping: The Long Road to Regulating a Short-Lived Climate Pollutant. Blogi. Päivitetty 25.4.2019. Saatavissa: <https://www.ccacoalition.org/en/blog/black-carbon-and-maritime-shipping-long-road-regulating-short-lived-climate-pollutant> [viitattu 3.4.2020].
- CO<sub>2</sub>-raportti. s.a. Ilmastomuutos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos> [viitattu 10.3.2020].
- Den Boer, E. & Hoen, M. 2015. Scrubbers – An economic and ecological assessment. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://en.nabu.de/imperia/md/content/nabude/verkehr/191101-nabu-ca-delft-scrubber-study.pdf> [viitattu 19.4.2020].
- Faber, J., Huigen, T. & Nelissen D. 2017. Regulating speed: a short-term measure to reduce maritime GHG emissions. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://cedelft.eu/en/publications/2024/regulating-speed-a-short-term-measure-to-reduce-maritime-ghg-emissions> [viitattu 22.4.2020].
- DNV GL. 2015. Maritime – Energy efficiency – EEDI and EEOI. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dnvgl.com/maritime/energy-efficiency/eedi-and-eeoi.html> [viitattu 10.4.2020].
- DNV GL. 2017. Group – Publications – Low Carbon Shipping Towards 2050. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dnvgl.com/publications/low-carbon-shipping-towards-2050-93579> [viitattu 16.4.2020].
- DNV GL. 2018. Maritime – Publications – Maritime Forecast to 2050. Energy transition outlook 2018. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dnvgl.com/publications/maritime-forecast-to-2050-107160> [viitattu 12.4.2020].

DNV GL. 2019a. Maritime – Insights – Topics - EU MRV and IMO DCS. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dnvgl.com/maritime/insights/topics/EU-MRV-and-IMO-DCS/> [viitattu 12.4.2020].

DNV GL. 2019b. Maritime – Publications – Assessment of selected alternative fuels and technologies in shipping. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dnvgl.com/maritime/publications/alternative-fuel-assessment-download.html> [viitattu 15.4.2020].

DNV GL. 2019c. Publications – Technology and Innovation – Energy Transition Outlook 2019. Maritime Forecast to 2050. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dnvgl.com/publications/energy-transition-outlook-2019-162874> [viitattu 16.4.2020].

DNV GL. 2019d. Maritime – Publications – Global Sulphur Cap 2020 – extended and updated. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dnvgl.com/maritime/publications/global-sulphur-cap-2020.html> [viitattu 19.4.2020].

DNV GL. 2020. Wind-assisted propulsion can cut fuel costs and emissions. Slideshow-esitys. Saatavissa: <https://www.dnvgl.com/expert-story/maritime-impact/Wind-assisted-propulsion-can-cut-fuel-costs-and-emissions.html> [viitattu 20.4.2020].

Elonen, P. 2019. Pinnan alle. *Helsingin Sanomat* 23.7.2019. Verkkolehti. Saatavissa: <https://dynamic.hs.fi/2019/pinnan-alle/> [viitattu 15.3.2020].

Finnlines. 2018. Finnlines käyttää optiot ja pidentää vielä kaksi roro-alusta. Mediatiedote 20.3.2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.finnlines.com/fi/uutishuone/finnlines-kayttaa-optiot-ja-pidentaa-viela-kaksi-oro-alusta> [viitattu 25.3.2020].

Furman, E., Pihlajamäki, M., Välipakka P. & Myrberg K. (toim.) 2014. Itämeri – ympäristö ja ekologia. PDF-dokumentti. Päivitetty 14.11.2016. Saatavissa: [https://www.syke.fi/fi-FI/Julkaisut/Esitteet/Itameri\\_ymparisto\\_ja\\_ekologia\\_tietopake\(28801\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Julkaisut/Esitteet/Itameri_ymparisto_ja_ekologia_tietopake(28801)) [viitattu 15.3.2020].

Gasum. s.a.a LNG – puhdasta energiaa Pohjoismaihin. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.gasum.com/kaasusta/maakaasu/lng/> [viitattu 16.4.2020].

Gasum. s.a.b. Towards cleaner maritime transport with LBG. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.gasum.com/en/for-businesses/sustainable-transport/lng-for-maritime-transport/lbg/> [viitattu 15.4.2020].

GL Reynolds. 2019. The multi-issue mitigation potential of reducing ship speeds. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://seas-at-risk.org/images/pdf/publications/Multi\\_issue\\_speed\\_report.pdf](https://seas-at-risk.org/images/pdf/publications/Multi_issue_speed_report.pdf) [viitattu 22.4.2020].

Green Ship of the Future. s.a. Particulate matter. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://greenship.org/about/emission-wiki/particulate-matter/> [viitattu 4.4.2020].



Helavuori, M. 2019. Ship emissions and the state of the Baltic Sea. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://sites.utu.fi/bre/ship-emissions-and-the-state-of-the-baltic-sea/> [viitattu 18.3.2020].

Helcom. s.a.a. Our Baltic Sea. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://stateofthebalticsea.helcom.fi/in-brief/our-baltic-sea/#physical-description-of-the-baltic-sea> [viitattu 4.3.2020].

Helcom. s.a.b. Action areas – Shipping - Exhaust Gas Emissions. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://helcom.fi/action-areas/shipping/exhaust-gas-emissions/> [viitattu 24.3.2020].

Helcom. 2018. State of the Baltic Sea – Second HELCOM holistic assessment 2011-2016. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://helcom.fi/media/publications/BSEP155.pdf> [viitattu 15.3.2020].

Helcom. 2019a. Emissions from Baltic Sea Shipping in 2006-2018. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://portal.helcom.fi/meetings/MARITIME%2019-2019-582/MeetingDocuments/5-2%20Emissions%20from%20Baltic%20Sea%20shipping%20in%202006%20-%202018.pdf> [viitattu 25.3.2020].

Helcom 2019b. Alternative fuels for shipping in the Baltic Sea Region. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.helcom.fi/wp-content/uploads/2019/10/HELCOM-EnviSUM-Alternative-fuels-for-shipping.pdf> [viitattu 16.4.2020].

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara P. 2009. Tutki ja kirjoita. 15., uudistettu painos. Helsinki: Tammi.

ICCT. s.a. Topics / Black carbon from ships. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://theicct.org/spotlight/black-carbon-ships> [viitattu 3.4.2020].

Ilmasto-opas. s.a.a. Kasvihuoneilmiö ja ilmakehän koostumus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/420c4ca3-a128-4ae7-882e-3d06e1ea24f5/kasvihuoneilmio-ja-ilmakehan-koostumus.html> [viitattu 10.3.2020].

Ilmasto-opas s.a.b. Ilmastonmuutoksen hillintä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/3d60183b-2544-4080-a61b-b367952e6e63/hillinta.html> [viitattu 12.3.2020].

Ilmatieteen laitos. 2018. Tiedotearkisto: 2018 – Puhtaammat laivojen polttoaineet tuovat terveyshyötyjä, mutta vaikuttavat myös ilmastoon. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/481116940> [viitattu 24.3.2020].

Ilmatieteen laitos. 2020. Kasvihuonekaasut. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-tutkimus> [viitattu 17.2.2020].

Ilmatieteen laitos s.a.a. Itämeri. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/itameri> [viitattu 4.3.2020].

Ilmatieteen laitos. s.a.b. Surveying the maritime emissions. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/surveying-maritime-emissions> [viitattu 18.3.2020].

IMO. s.a.a. Brief History of IMO. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.imo.org/en/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx> [viitattu 7.4.2020].

IMO. s.a.b. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL). WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx) [viitattu 7.4.2020].

IMO. s.a.c. Prevention of Air Pollution from Ships. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Air-Pollution/Pages/Air-Pollution.aspx> [viitattu 8.4.2020].

IMO. s.a.d. Low carbon shipping and air pollution control. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/GHG/Pages/default.aspx> [viitattu 10.4.2020].

IMO. 2014. Third IMO GHG Study 2014. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Greenhouse-Gas-Studies-2014.aspx> [viitattu 18.3.2020].

Intovuori, V-V. & Kämäräinen, J. 2020. IMon MARPOL -yleissopimuksen Tier III NO<sub>x</sub>-päästörajoitukset. PowerPoint-esitys. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Intovuori%20IMon%20MARPOL%20yleissopimuksen%20Tier%20III%20NOx%20-%20p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6rajoitukset%20-%20Jorma%20K%C3%A4m%C3%A4r%C3%A4inen%20-%2012-2-2020.pdf> [viitattu 8.4.2020].

IPCC. 2018. Special Report: Global Warming of 1.5 °C. Summary for Policy-makers. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/> [viitattu 3.4.2020].

Kantharia, R. 2019. MARPOL (The International Convention for Prevention of Marine Pollution for Ships): The Ultimate Guide. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.marineinsight.com/maritime-law/marpol-convention-ship-ping/> [viitattu 8.4.2020].

Klopott, M. 2017. The Baltic Sea as a model region for green ports and maritime transport. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.bpo-ports.com/BPC/Helsinki/BPO\\_report\\_internet-final.pdf](http://www.bpo-ports.com/BPC/Helsinki/BPO_report_internet-final.pdf) [viitattu 19.4.2020].

Kokkonen, Y. 2018. Merenkulun ilmastopäästöt aiotaan puolittaa – Päätös voi poikia Suomen telakoille lisätilauksia. *Yle uutiset* 13.4.2018. Verkkolehti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10159934> [viitattu 12.3.2020].

Kulmala, A. 2019. Itämeren ravinnekuormitus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mtk.fi/-/itameren-ravinnekuormitus> [viitattu 15.3.2020].

Laitinen, T. 2019. Ilmastomuutos – tieteellistä taustaa. Teoksessa Hamilo, M. & Grönroos, S. (toim.) Ympäristörealistin käsikirja. Helsinki: Suomen perusta, 21–35.

Lampila, J. 2018. Roottoripurje antaa vauhtia Viking Linen lippulaivalle. *Kes-tävä Energiatalous* 22.5.2018. Verkkoalehti. Saatavissa: <https://www.energiatalous.fi/?p=2037> [viitattu 20.4.2020].

Lean Ships. 2016. Demo Case. The potential of methanol as alternative fuel. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.leanships-project.eu/demo-cases/demo-case-05/overview/> [viitattu 16.4.2020].

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2019a. Liikenteen khk-päästöjen kehitys ja ennustet. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/d99a3ae3-b7f9-49df-afd2-c8f2efd3dc1d/a59e89e7-547d-4614-892c-d90b7a84f631/ESITYS\\_20200116124308.pdf](https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/d99a3ae3-b7f9-49df-afd2-c8f2efd3dc1d/a59e89e7-547d-4614-892c-d90b7a84f631/ESITYS_20200116124308.pdf) [viitattu 18.3.2020].

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2016. Laivojen typpipäästöjä rajoitetaan Itämerellä ja Pohjanmerellä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lvm.fi/-/laivojen-typpipaastoja-rajoitetaan-itamerella-ja-pohjanmerella> [viitattu 2.4.2020].

Länkinen, T. 2016. Typpidirektiivi tulee, Itämeri tervehtyy. *Yle uutiset* 27.10.2016. Verkkoalehti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-9257254> [viitattu 2.4.2020].

Marine Insight. 2020. World's First Methanol-Powered Commercial Vessel Celebrates Five-Year Anniversary. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.marineinsight.com/shipping-news/worlds-first-methanol-powered-commercial-vessel-celebrates-five-year-anniversary/amp/> [viitattu 17.4.2020].

Martiala, K. 2020. Merenkulkusektori tulossa mukaan EU:n päästökauppaan. *Port of Helsinki* 15.1.2020. Verkkoalehti. Saatavissa: <https://www.portofhelsinki.fi/verkkolehti/merenkulkusektori-tulossa-mukaan-eun-paastokauppaan> [viitattu 12.4.2020].

Meriliitto. 2020. Itämeri – meidän meremme. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://www.meriliitto.fi/?page\\_id=102](http://www.meriliitto.fi/?page_id=102) [viitattu 17.3.2020].

Mikkonen, M. 2019. Järjestö: Maailman suurimman risteilyvarustamon laivat päästivät Euroopassa rikkiä kymmenen kertaa enemmän kuin kaikki autot yhteensä. *Helsingin Sanomat* 8.6.2019. Verkkoalehti. Saatavissa: <https://www.hs.fi/ulkomaat/art-2000006136118.html> [viitattu 30.3.2020].

Mishra, B. Shipping Industry and the NO<sub>x</sub> Emissions. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://seanews.co.uk/features/shipping-industry-and-the-nox-emissions/> [viitattu 2.4.2020].

Muilo, H. 2019. Piikkiöläinen perheyhtiö käänsi rikkidirektiivin voitokseen ja takoo nyt miljoonia. *Yle uutiset* 2.5.2019. Verkkoalehti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10755596> [viitattu 30.3.2020].

Myrberg, K. & Leppäranta M. 2019. Itämeri ja ihminen. Helsinki: Tammi.

Mäkinen, A. 2020. Regulatory Developments of IMO – and European Green Deal. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.businessfinland.fi/4906ea/globalassets/finnish-customers/horizon-2020/esitysaineistot/27\\_01-3-makinen-imo-and-green-deal.pdf](https://www.businessfinland.fi/4906ea/globalassets/finnish-customers/horizon-2020/esitysaineistot/27_01-3-makinen-imo-and-green-deal.pdf) [viitattu 24.4.2020].

Neste. s.a. Biodiesel ja uusiutuva diesel – Mitä eroa? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.neste.fi/artikkeli/biodiesel-ja-uusiutuva-diesel-mita-eroa> [viitattu 15.4.2020].

Norsepower. 2019. Independent tests confirm Norsepower Rotor Sail savings on Viking Grace. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.norsepower.com/post/independent-tests-confirm-norsepower-rotor-sail-savings-on-viking-grace/> [viitattu 20.4.2020].

Pajala, J. 2019. Jukka Pajala: Merentutkimusalue Arandalla kokeillaan polttoaineena päästötöntä vetyä. Ratkaisuja-blogi. Päivitetty 24.1.2019. Saatavissa: [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Ratkaisujablogi/Jukka\\_Pajala\\_Merentutkimusalue\\_Arandalla\(49087\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Ratkaisujablogi/Jukka_Pajala_Merentutkimusalue_Arandalla(49087)) [viitattu 16.4.2020].

Pavlenko, N., Comer, B., Zhou, Y., Clark, N. & Rutherford, D. 2020. The climate implications of using LNG as a marine fuel. ICCT Working paper 2020-02. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/Climate\\_implications\\_LNG\\_marinefuel\\_01282020.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/Climate_implications_LNG_marinefuel_01282020.pdf) [viitattu 16.4.2020].

Pervilä, M. 2019. Gasum: LNG on yksi merenkulun parhaista keinoista yltää IMO:n rikkirajoihin. *Navigator magazine* 13.5.2019. Verkkolehti. Saatavissa: <https://navigatormagazine.fi/uutiset/meriliikenne-ja-varustamot/gasum-lng-on-yksi-merenkulun-parhaista-keinoista-yltaa-imon-rikkirajoihin/> [viitattu 16.4.2020].

Port of Helsinki. 2020. Helsingin satama yhä Euroopan vilkkain matkustajasatama. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.portofhelsinki.fi/helsingin-satama/ajankohtaista/uutiset/helsingin-satama-ya-euroopan-vilkkain-matkustajasatama> [viitattu 19.3.2020].

Pöntynen, R. & Lempiäinen, P. 2015. Rikkisääntely ja uudet polttoaineet. Turun Yliopiston Brahea-keskus. Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen julkaisu B 202/2015. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.utu.fi/sites/default/files/media/MKK/Julkaisut/B202\\_Rikkis%C3%A4%C3%A4ntely\\_ja\\_uudet\\_polttoaineet.pdf](https://www.utu.fi/sites/default/files/media/MKK/Julkaisut/B202_Rikkis%C3%A4%C3%A4ntely_ja_uudet_polttoaineet.pdf) [viitattu 19.4.2020].

Ramne, B., Bomanson, J., Molander, P., Ellis, J., Errestad, E. & Klintenberg, H. 2018. GreenPilot Final Report. Greenpilot – Pilot Boat with Minimal Environmental Impact. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://smtf.se/wp-content/uploads/2019/02/D8.3-Final-Report-ver20181128-with-appendices2.pdf> [viitattu 17.4.2020].

Repka, S., Ojala, L., Jalkanen, J-P., Alhosalo, M., Niemi, J., Pöntynen, R., Solakivi, T., Pohjola, T., Haavisto, R., Lensu, M., Erkkilä-Välimäki, A., Haukioja, T. & Kiiski, T. 2017. Merenkulun kansainvälisen ilmasto- ja ympäristösääntelyn vaikutukset Suomen elinkeinoelämälle. Valtioneuvoston selvitys- ja tutki-

mustoiminnan julkaisusarja 55/2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80283/55\\_Mersu\\_.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80283/55_Mersu_.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 10.4.2020].

Ryynänen, K. 2019. Mustan hiilen mittaamiseksi kehitetään yhtenäistä tapaa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://atmoslehti.fi/yleinen/mustan-hiilen-mittaamiseksi-kehitetaan-yhtenaista-tapaa/> [viitattu 3.4.2020].

Safety4Sea. 2020. France, Portugal, Spain, Gibraltar impose restrictions on open-loop scrubbers. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://safety4sea.com/france-portugal-spain-gibraltar-impose-restrictions-on-open-loop-scrubbers/> [viitattu 19.4.2020].

Scania. s.a.a. Uusiutuva diesel (HVO). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.scania.com/fi/fi/home/kestava-kehitys/vaihtoehtoiset-polttoaineet/HVO.html> [viitattu 15.4.2020].

Scania. s.a.b. Biodiesel (FAME). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.scania.com/fi/fi/home/kestava-kehitys/vaihtoehtoiset-polttoaineet/Biodiesel-FAME.html> [viitattu 15.4.2020].

Suomen Varustamot. s.a.a. Vastuullisuus – Ilmastonsuojelu ja ilmastonmuutos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://shipowners.fi/vastuullisuus/ymparisto/ilmastonsuojelu-ja-ilmastonmuutos/> [viitattu 18.3.2020].

Suomen Varustamot. s.a.b. Vastuullisuus – Ilmastonsuojelu ja ilmastonmuutos – Merenkulun rikkipäästöt. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://shipowners.fi/vastuullisuus/ymparisto/ilmastonsuojelu-ja-ilmastonmuutos/> [viitattu 30.3.2020].

Suomen Varustamot. s.a.c. Vastuullisuus – Ilmastonsuojelu ja ilmastonmuutos – Muut merenkulun päästöt ilmaan. Pienhiukkaset (particulate matters PM). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://shipowners.fi/vastuullisuus/ymparisto/ilmastonsuojelu-ja-ilmastonmuutos/> [viitattu 4.4.2020].

Suomen Varustamot. s.a.d. Vastuullisuus – Ilmastonsuojelu ja ilmastonmuutos – Muut merenkulun päästöt ilmaan. Musta hiili (black carbon BC). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://shipowners.fi/vastuullisuus/ymparisto/ilmastonsuojelu-ja-ilmastonmuutos/> [viitattu 3.4.2020].

Suomen Varustamot. s.a.e. Kansainvälinen sääntely ja ohjeistus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://shipowners.fi/tyomarkkinat-ja-osaaminen/tyomarkkina-asiat/kansainvalinen-saantely-ja-ohjeistus/> [viitattu 7.4.2020].

Suomen Varustamot. s.a.f. Vastuullisuus – Merenkulun ympäristö määräykset. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://shipowners.fi/vastuullisuus/ymparisto/merenkulun-ymparistomaaraykset/> [viitattu 7.4.2020].

Suomen Varustamot. s.a.g. Vastuullisuus – Ilmastonsuojelu ja ilmastonmuutos – Merenkulun typpipäästöt. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://shipowners.fi/vastuullisuus/ymparisto/ilmastonsuojelu-ja-ilmastonmuutos/> [viitattu 8.4.2020].

Suomen Varustamot. s.a.h. Vastuullisuus – Ilmastonsuojelu ja ilmastomuutos – Merenkulun rikkipäästöt. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://shipowners.fi/vastuullisuus/ymparisto/ilmastosuojelu-ja-ilmastonmuutos/> [viitattu 9.4.2020].

Suomen Varustamot. 2019. Merenkulun päästöjä mitataan ja seurataan aluskohtaisella tarkkuudella – päästötiedot on nyt avattu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://shipowners.fi/merenkulun-paastoja-mitataan-ja-seurataan-aluskohtaisella-tarkkuudella-paastotiedot-on-nyt-avattu/> [viitattu 25.3.2020].

Suomen Varustamot. 2019b. Pilvimuodostelma Suomenlahden yllä ei todennäköisesti liity merenkulkuun. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://shipowners.fi/pilvimuodostelma-suomenlahden-ylla-ei-todennakoisesti-liity-merenkulkuun/> [viitattu 30.3.2020].

Suomen ympäristökeskus. 2014. Happamoituminen. WWW-dokumentti. Päivitetty 2.7.2019. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/vesistöjen\\_kunnostus/Virtavesien\\_kunnostus/Kunnostustarvetta aiheuttavia tekijöitä/Happamoituminen](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/vesistöjen_kunnostus/Virtavesien_kunnostus/Kunnostustarvetta aiheuttavia tekijöitä/Happamoituminen) [viitattu 30.3.2020].

Suomen ympäristökeskus. 2015. Itämeren typpikuorma Suomesta. WWW-dokumentti. Päivitetty 10.10.2018. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika\\_on\\_Itämeren\\_tila/Itämeren\\_typpikuorma\\_Suomesta\(31457\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika_on_Itämeren_tila/Itämeren_typpikuorma_Suomesta(31457)) [viitattu 2.4.2020].

Tapaninen, U. 2018. Logistiikka ja liikennejärjestelmät. Helsinki: Otatieto.

Tapaninen, U. 2019. Merenkulun logistiikka. 2. uudistettu painos. Helsinki: Otatieto.

Tuomi, J. & Sarajärvi A. 2018. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Uudistettu laitos. Helsinki: Tammi.

UCA. 2019. United Canal Agency GMBH. General Information about Kiel-Canal transits – part I. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kiel-canal.de/wp-content/uploads/2018/02/General-Info-about-Kiel-Canal-transits.pdf> [viitattu 7.3.2020].

Ulkoministeriö. s.a. Vastuualueet – Itämeri-yhteistyö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://um.fi/suomen-itämeri-politiikka> [viitattu 23.4.2020].

Valtanen, T. 2019. Helsinki suitsii laivojen tupruttelua satamassa miljoonainvestoinnein – ”Merkittävä vaikutus ilmastopäästöihin”. *Yle Uutiset* 4.12.2019. Verkkoletti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-11101786> [viitattu 22.4.2020].

Valtaoja, E. 2017. Kohti ikuisuutta. Helsinki: Ursa.

Valtioneuvosto. 2019a. Ajankohtaista – artikkeli - EU:n neuvostossa sovittiin merenkulun hiilidioksidipäästöjen tarkkailusta. Liikenne- ja viestintäministeriön tiedote 30.10.2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset\\_publisher/eu-n-neuvostossa-sovittiin-merenkulun-hiilidioksidipaastojen-tarkkailusta](https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/eu-n-neuvostossa-sovittiin-merenkulun-hiilidioksidipaastojen-tarkkailusta) [viitattu 25.3.2020].



Valtioneuvosto. 2019b. Marinin hallitus – Hallitusohjelma – Strategiset kokonaisuuudet – Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi> [viitattu 24.4.2020].

Valtioneuvosto. 2019c. Hankkeet – Fossiilittoman liikenteen tiekartta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=LVM050:00/2019> [viitattu 24.4.2020].

VG-Shipping. 2019. Arandalla kokeillaan päästötöntä polttokennotekniikkaa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://vg-shipping.fi/merentutkimusalus-arandalla-kokeillaan-paastotonta-polttokennotekniikkaa> [viitattu 16.4.2020].

Viking Line. s.a. Uusi rottoripurje teki Viking Gracesta edelläkävijän. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vikingline.fi/valitse-matka/laivat/ms-viking-grace/roottoripurje/> [viitattu 20.4.2020].

Viking Line. 2017. Vuosikertomus 2016. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.vikingline.com/globalassets/documents/market\\_specific/corporate/investors/annual-reports/vuosikertomus-2016.pdf](https://www.vikingline.com/globalassets/documents/market_specific/corporate/investors/annual-reports/vuosikertomus-2016.pdf) [viitattu 17.4.2020].

VTT. 2019. Etusivu – Uutiset ja tarinat – VTT ja ABB kehittävät vetyteknologialla kulkevia nollapäästöisiä laivoja Eurooppaan. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/vtt-ja-abb-kehittavat-vetyteknologialla-kulkevia-nollapaastoisia-laivoja> [viitattu 16.4.2020].

Vänskä, K. 2018. ABB – Puheenaiheena nyt – Polttokennotekniikka ennakoi täysin päästötöntä meriliikennettä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.abb-conversations.com/fi/2018/12/polttokennotekniikka-ennakoi-taysin-paastotonta-meriliikennetta/> [viitattu 15.4.2020].

Väylävirasto. 2019. Aineistot – Avoin data – Vesiväylät – AIS-tiedot. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://vayla.fi/avoindata/vesivaylat/ais-tiedot> [viitattu 18.3.2020].

Väylävirasto. 2020. Liikenneverkko – Liikennejärjestelmä – Euroopan laajuinen liikenneverkko TEN-T ja CEF-rahoitus – Euroopan laajuinen liikenneverkko (TEN-T). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://vayla.fi/liikennejarjestelma/cef-liikennehaku/ten-t> [viitattu 16.4.2020].

WWF. s.a.a. Ilmastonmuutoksen vaikutukset. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/#ilmastonmuutoksen-vaikutukset> [viitattu 10.3.2020].

WWF. s.a.b. Alueet - Itämeri - Merenkulku. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://wwf.fi/alueet/itameri/> [viitattu 7.3.2020].

Ympäristöministeriö. 2018. Pariisin ilmastopimus. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.2.2019. Saatavissa: [https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Ilmastomuutoksen\\_hillitseminen/Kansainvaliset\\_ilmastoneuvottelut/Pariisin\\_ilmastopimus](https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastomuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Pariisin_ilmastopimus) [Viitattu 12.3.2020].

Ympäristöministeriö. 2020. Kuuleminen ehdotuksesta Suomen merenhoidon seurantaohjelmaksi vuosille 2020-2026 on käynnistynyt. Tiedote 20.1.2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Kuuleminen\\_ehdotuksesta\\_Suomen\\_merenhoid\(54074\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Kuuleminen_ehdotuksesta_Suomen_merenhoid(54074)) [viitattu 23.4.2020].



## KUVALUETTELO

Kuva 1. Teoreettinen viitekehys .....	8
Kuva 2. Itämeri (Järviwiki 2020) .....	13
Kuva 3. Itämeren meriliikenne maaliskuussa 2020 (MarineTraffic 2020) .....	14
Kuva 4. Itämeren valuma-alue (Helcom 2019) .....	17
Kuva 5. Pakokaasun sisältämät päästölajit (DNV GL 2016).....	20
Kuva 6. Meriliikenteen CO <sub>2</sub> -päästöt vuonna 2011 (Ilmatieteen laitos 2019) ..	21
Kuva 7. Pienhiukkasen suhteellinen koko (CCAC s.a.) .....	24
Kuva 8. Meriliikenteen aiheuttamat mustan hiilen päästöt vuonna 2015 (ICCT 2019) .....	25
Kuva 9. Itämeren meriliikenteen NO <sub>x</sub> -päästöjen kehitys vuosien 00-40 välillä (Intovuori & Kämäräinen 2020).....	28
Kuva 10. Rikkirajoitetut SECA-alueet (DNV GL 2019) .....	29
Kuva 11. IMO:n GHG-strategia graafisessa muodossa (DNV GL 2018) .....	31
Kuva 12. LNG:n tuomat päästövähennykset muihin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna (Helcom 2019).....	34
Kuva 13. Rikkipesureiden tyypit maailman merillä vuonna 2020 (DNV GL 2019) .....	40
Kuva 14. Viking Gracen yläkannelle asennettu roottoripurje (Iltalehti 2019) ..	41
Kuva 15. Alusten nopeuden alentamisen vaikutukset CO <sub>2</sub> -päästöihin (Faber ym. 2017) .....	42